Die künstlichen Kohlen

für elektrische Öfen, Elektrolyse und Elektrotechnik

Von

Professor Dr. phil. Kurt Arndt

a. o. Professor an der Technischen Hochschule Berlin

Zugleich als zweite, völlig umgestaltete Auflage von J. Zellner, Die künstlichen Kohlen für elektrotechnische und elektrochemische Zwecke

Mit 365 Abbildungen im Text

Berlin
Verlag von Julius Springer
1932

Vorwort.

In den drei Jahrzehnten seit dem Erscheinen des Zellnerschen Buches wuchs die Erzeugung von Karbid, Aluminium usw. zu riesiger Größe. Neue Erzeugnisse des elektrischen Ofens und der Elektrolyse kamen hinzu. Man forderte immer größere Kohlenelektroden, die trotz der schwierigen Herstellung den gesteigerten Ansprüchen genügen sollten. Um die gewaltigen Mengen zu liefern, mußten sich die Elektrodenfabriken auch in den Rohstoffen wesentlich umstellen. Als ich im Weltkrieg die deutsche Elektrodenerzeugung bewirtschaftete, durfte ich stolz darauf sein, daß die Betriebsleiter in zäher Arbeit endlose Schwierigkeiten überwanden. Ich half nach Kräften über meinen eigentlichen Amtsbereich hinaus, indem ich zwischen Erzeugern und Verbrauchern ein gutes Einvernehmen förderte und auch durch Untersuchungen im Laboratorium Streitfragen aufzuklären unternahm. Nachdem die bedrückende Zwangswirtschaft aufgehoben war, bin ich zu meiner Freude mit der Industrie der „künstlichen Kohlen" in guter Fühlung geblieben.

So habe ich es gewagt, das ganze Buch neu zu schaffen, obwohl ein mir befreundeter Betriebsleiter dies Unterfangen eine „Sisyphusarbeit" nannte. Ich habe viele Abbildungen selbst aufgenommen und teile manche Ergebnisse von Untersuchungen mit, die unter meiner Leitung ausgeführt, aber bisher noch nicht veröffentlicht wurden. Eingeschaltet habe ich einige Abschnitte über die Verwendung der Kohlenelektroden. Wer darüber mehr von mir wissen will, sei auf meine „Technische Elektrochemie" verwiesen.

Möge der jetzt schwer kämpfenden Industrie der künstlichen Kohlen bald ein neuer wirtschaftlicher Aufschwung von Dauer beschieden sein!

Berlin-Charlottenburg, im August 1932.

K. Arndt.

Inhaltsverzeichnis.

Erstes Kapitel.

Geschichtliche Einleitung.

Die Elektrodenindustrie. Die Industrie der künstlichen Kohlen oder, besser gesagt, Elektrodenkohlen, liefert die gut leitenden Kohlen für galvanische Elemente und für Bogenlampen, Dynamobürsten und vor allem die großen Kohlenelektroden für elektrische Öfen (zuerst zur Karbiderzeugung), für Schmelzelektrolyse (hauptsächlich Aluminium) und für die Elektrolyse wässeriger Lösungen (besonders Chloralkali-Elektrolyse). Außer der guten Leitfähigkeit für den elektrischen Strom werden je nach dem Verwendungszweck an die Kohlen besondere Anforderungen gestellt. Z. B. sollen die Elektroden für elektrothermische Zwecke mit großer Festigkeit hohe Widerstandsfähigkeit gegen schroffe Temperaturunterschiede verbinden. Die Anodenkohlen für die Aluminiumbäder dürfen nur sehr geringe Mengen von Kieselsäure und Eisenoxyd enthalten, die Elektrolysekohlen sollen sich nur wenig und vor allem gleichmäßig abnutzen. Die Bürstenkohlen sind je nach der Belastung und der Umlaufgeschwindigkeit verschieden zu wählen. Die Bogenlampenkohlen sollen ein ganz ruhiges, nicht zuckendes Licht liefern und müssen heutzutage als Kinokohlen außerordentlich hohe Strombelastung vertragen.

Ihren Ausgang nahm die Elektrodenindustrie vor 90 Jahren von den galvanischen Elementen (daher auch der alte Name galvanische Kohlen), dann mußte sie Bogenlampenkohlen liefern, und zwar nach der Erfindung der Dynamomaschine und der selbstregelnden Bogenlampe seit 1880 in bedeutenden Mengen von bester Beschaffenheit. Der große Aufschwung und eine gründliche Umstellung kam um die Jahrhundertwende durch die Karbidwerke, später durch die Elektrostahlöfen, die Aluminiumindustrie usw. Ins Riesenmäßige wuchsen die Anforderungen während des Weltkrieges. Allein in Deutschland, wo ich von Ende 1916 bis Sommer 1919 die Elektrodenerzeugung zu verwalten hatte, wuchs die monatlich zu liefernde und tatsächlich auch gelieferte Menge bis auf 5000 Tonnen und sollte bis auf 9000 t gesteigert werden.

Der größte Elektrodenverbraucher ist heute die Aluminiumindustrie, welche 1930 zur Gewinnung von 277000 t Aluminium wohl über 170000 t Kohlenanoden benötigte, während für 1 Million t Karbid nur etwa 25000 t Ofenelektroden zu liefern waren. Dieser gewaltige Unter-

schied, daß für die viel größere Menge Karbid viel weniger Elektrodenkohle nötig ist, erklärt sich einfach dadurch, daß an dem elektrochemischen Vorgange der Aluminiumabscheidung die Anode zwangsläufig teilnimmt, und zwar nach der gewöhnlichen Theorie derart, daß auf 1 kg Metall $^2/_3$ kg Anodenkohle aufgewendet werden müssen, während bei dem elektrothermischen Verfahren der Karbidgewinnung die Elektrodenkohle nur den Strom zuleiten soll und sich nebenbei durch Abbrand verbraucht, und zwar in um so geringerem Maße, je besser die Kohle und der Ofengang ist.[1]

Grundlegung durch Bunsen. Sieht man davon ab, daß Davy 1800 mit Hilfe seiner großen Voltabatterie zwischen Holzkohlestücken einen elektrischen Lichtbogen bekam, so beginnt die Geschichte der Elektrodenkohlen mit dem Jahre 1842, als der große deutsche Chemiker Robert Bunsen in Poggendorffs Annalen „Über Bereitung einer das Platin in der Groveschen Kette ersetzenden Kohle“ berichtete. Weil in dieser berühmten Abhandlung schon fast die heutige Arbeitsweise angedeutet ist, will ich im folgenden den für uns wesentlichen Inhalt wörtlich wiedergeben.

„Die neue und wichtige Anwendung, welche das Platin durch Grove's schöne Entdeckung gefunden hat, macht es sehr wünschenswerth dieses kostbare Metall durch eine wohlfeilere Substanz ersetzen zu können. Man hat daher schon vor längerer Zeit sowohl den natürlich vorkommenden, als auch den in den Gasretorten sich absetzenden Graphit zu diesem Zwecke in Vorschlag gebracht. Allein die Schwierigkeit, welche die ungewöhnliche Festigkeit dieses Stoffes seiner mechanischen Bearbeitung entgegenstellt, noch mehr aber die Unmöglichkeit ihn in Stücken von beliebiger Form und Oberflächenausdehnung herzustellen, sind wenig geeignet gewesen, die Erwartungen zu rechtfertigen, zu denen die Wohlfeilheit dieses Materials zu berechtigen schien. Es ist daher auch, so viel ich weiß, dieser Vorschlag niemals allgemeiner in Ausführung gebracht worden. Ich habe mich dagegen durch Versuche überzeugt, daß diese Schwierigkeiten, welche der allgemeinen Anwendung der Kohle bisher im Wege standen, zu beseitigen sind, indem die Modification des Kohlenstoffes, welche man durch heftiges Glühen kohlenstoffreicher organischer Stoffe erhält, und die in Beziehung auf ihre Leitungsfähigkeit und elektromotorische Kraft selbst das Platin unter Umständen noch an Wirksamkeit übertrifft, in einer Form erhalten werden kann, worin sie sich mit der größten Leichtigkeit bearbeiten und in die für die speciellen Zwecke ihrer Anwendung geeignete Gestalt bringen läßt. Man erhält eine diesen Bedingungen voll-

[1] 1917 wurden unter besonders ungünstigen Umständen mehr als 70 kg, oft 50 kg Elektroden auf die Tonne geliefertes Karbid benötigt, während man heute unter günstigen Umständen bis auf 18 kg herabkommt.

kommen genügende Masse durch Glühen eines durchgesiebten Gemenges von völlig ausgeglühten Coaks mit ebenfalls fein pulverisirten, möglichst backenden Steinkohlen, die man in dem annähernden Verhältnisse von 1 zu 2 miteinander vermischt. Zeigt sich die Masse nach dem Glühen zu zerreiblich und locker, was bei Anwendung weniger fetter Steinkohlen der Fall zu seyn pflegt, so muß das Verhältnis der letzteren gegen das des Coaks vermehrt werden. Ist dagegen die Steinkohle überwiegend, so zerklüftet sich die Kohle in einzelne nicht zusammenhängende Stücke. Hat man das richtige Verhältniß der Gemengtheile für eine Kohlenart einmal ermittelt, so ist ein Mißlingen der Darstellung später nicht mehr zu befürchten. Das Glühen geschieht bei mäßigem Kohlenfeuer in eisenblechernen Formen, welche zehn bis zwölf Operationen aushalten. Übersteigt der Durchmesser dieser Formen 5 bis 6 Zoll, so gelingt es nur selten, eine von Rissen ganz freie Kohle zu erhalten. Dagegen lassen sich ohne Schwierigkeit hohe Cylinder von noch größeren Dimensionen darstellen, wenn man eine cylindrische Schachtel in die Form stellt, und den Zwischenraum zwischen der hölzernen und eisernen Wandung mit dem Kohlengemenge ausfüllt.

Die bedeutende Volumenveränderung, welche die Kohle bei dem Glühen erleidet, erlaubt es nicht, diese Schachtel durch eine Blechrolle zu ersetzen. Die auf diese Art bereitete Kohlenmasse besitzt zwar schon eine hinzulängliche Festigkeit, allein sie gestattet in dieser Form, wegen ihrer großen Porosität, noch keine Anwendung. Um ihr die nöthige Dichtigkeit und eine den härteren Gesteinen an Festigkeit kaum nachstehende Beschaffenheit zu ertheilen, tränkt man sie vor dem zweiten Glühen in concentrirte Zuckerlösung, zu der man die schlechtesten Zuckerabfälle benutzen kann, und trocknet sie darauf, bis der Zucker in der Form wieder fest geworden ist. Leitungsfähigkeit und elektromotorische Kraft erlangt die Kohle erst dadurch, daß man sie in einem mit Kohlenstücken angefüllten, bedeckten, feuerfesten Gefäße der mehrstündigen Einwirkung einer starken Weißglühhitze aussetzt, was am leichtesten in einem gewöhnlichen Töpferofen geschieht. Die nach diesen Angaben bereitete Kohle ist vollkommen homogen, wenig porös, nicht im mindesten abfärbend, klingend, von metallischem Ansehen, und so fest, daß ein sechs Loth schwerer, drei Linien dicker, hohler Cylinder, ohne zu zerbrechen, vier bis sechs Fuß tief auf Holz herabfallen kann. Zur Anfertigung von Kohlenplatten bedient man sich am besten kubischer Kohlenstücke, die sich vermittelst einer Holzsäge in Linien dicken Scheiben schneiden und auf einer Sandsteinplatte eben schleifen lassen. ... Statt der Platten wendet man die Kohlen noch zweckmäßiger in der Form hohler Cylinder an, die sich ohne Schwierigkeit von solchen Dimensionen anfertigen lassen, daß ihre Gesammtoberfläche einen Quadratfuß beträgt. Die rohe Bearbeitung dieser

Cylinder geschieht, vor ihrem Eintauchen in Zuckerlösung, vermittelst einer Reibe aus Blech; um sie genau cylindrisch und eben zu erhalten, dreht man sie nach dem zweiten Glühen mit der Hand durch Einschleifen in einem mit gezahntem Rande versehenen Blechcylinder von innen nach außen ab.

Das Eindringen von Flüssigkeiten bis in diejenigen Theile der Kohle, welche mit Metallen in leitende Verbindung gesetzt werden sollen, vermeidet man dadurch, daß man diese Theile in Wachs tränkt, welches von der Kohle aufgesogen wird, und ihre Capillarität gegen andere Flüssigkeiten aufhebt, ohne die Leitungsfähigkeit auf eine bemerkbare Weise zu schwächen.“

An die Abhandlung Bunsens hat der damalige Herausgeber der Annalen Poggendorff, welcher von vornherein diese Kohlen ungünstig beurteilt hatte, folgende Anmerkung angehängt:

„Die Masse ist feinkörnig, wenig porös und von einem solchen Grade der Festigkeit, daß sie sich mit Leichtigkeit hat formen lassen, ohne sehr zerbrechlich zu seyn. Ich habe ihre Wirksamkeit als stromerregendes Element bisher noch nicht untersuchen können, zweifle aber nicht, daß sie mit Hülfe von Thoncylindern gute Dienste leisten werde. Auch will ich nicht in Abrede stellen, daß Batterien von sehr großen Dimensionen aus solchen Kohlen, besonders wenn sie erst fabrikmäßig bereitet würden, werden wohlfeiler darzustellen seyn als aus Platin (wiewohl auch darüber noch erst die Erfahrung entscheiden müßte, zumal jetzt vielleicht Aussicht da ist, Kupfer oder Eisen wohlfeil platiniren zu können); allein für kleine Apparate, wie sie zu eigentlich wissenschaftlichen Untersuchungen erforderlich und hinreichend sind, kann ich selbst gegenwärtig den Kohlen keinen Vorzug vor dem Platin zugestehen. P.“

In Wirklichkeit ist gerade das Bunsenelement viele Jahrzehnte lang für wissenschaftliche Arbeiten die gebräuchlichste Starkstromquelle gewesen, bis es durch den Maschinenstrom und den Bleiakkumulator abgelöst wurde.

In Bunsens Beschreibung finden wir schon folgende wichtige Regeln für die Elektrodenfabrikation: Der Rohstoff muß zunächst durch Ausglühen entgast werden. Der richtige Grad der Zerkleinerung muß durch Absieben gesichert werden. Das richtige Mischungsverhältnis zwischen zerkleinerter Kohle und Bindemittel (statt backender Steinkohle nehmen wir heute den aus ihr gewonnenen Teer und Pech) muß durch Versuche so festgestellt sein, daß nachher beim Brennen die Elektrode weder rissig wird noch mürbe bleibt. Das Brennen muß in geeigneten Behältern unter Luftabschluß (zerkleinerte Kohle als Schutzdecke) bei langsam gesteigerter Hitze vorsichtig ausgeführt werden. Die gebrannte Kohle wird durch Abdrehen oder Abschleifen auf genaues Maß gebracht. Das nachträgliche Verschließen der Poren mit einem

geeigneten Füllstoff spielt auch heute noch bei den Elektrolysekohlen eine gewisse Rolle, trotzdem sie an sich weit weniger porös sind als die unter zu geringem Druck geformten Bunsenschen Kohlen; den Kopf von Batteriekohlen tränkt man heute anstatt mit Wachs mit Paraffin.

In Frankreich machte Reiset 1843 das Bunsenelement bekannt und Archerau baute für Despretz eine Batterie von 600 Bunsenelementen, mit deren Hilfe Depretz alle bisher als feuerfest geltenden Stoffe im „elektrischen Feuer“ schmelzen und verdampfen konnte. Auch Kohle konnte er verdampfen und anscheinend auch zum Schmelzen bringen. Bei Retortenkohle beobachtete er, daß sie in der Glut anschwoll und splitterte, indem sie teilweise in weichen Graphit überging.

Lichtkohlen. Für das Bogenlicht verwendete Foucoult 1844 in seiner durch ein Uhrwerk geregelten Bogenlampe als Elektroden Stäbe aus Retortenkohle. Bei dieser Verwendung störten besonders die mineralischen Verunreinigungen der Kohle, deren Schmelzen und Verdampfen den Lichtbogen unruhig machte. Deshalb versuchte Jacquelain, diese schädlichen Aschenbestandteile aus den Stäben durch chemische Behandlung herauszulösen. Le Molt verwendete ein Gemisch von 2 Teilen gemahlener Retortenkohle und 2 Teilen aschearmer Holzkohle mit 1 Teil Teer und behandelte die daraus geformten Kohlenscheiben, nachdem sie 30 Stunden lang stark geglüht waren, mit Säuren. Lacassagne und Thiers suchten zunächst aus der Kohle mit einer Ätznatronschmelze die Kieselsäure herauszuholen, wuschen dann gründlich aus und glühten schließlich im Chlorstrom, um Eisen usw. als Chlorid wegzudampfen. Später fand man im Ruß einen aschenfreien Rohstoff.

Umgekehrt hat M. F. Carré seit 1868 geeignete Salze der Kohle beigemischt, um den Lichtbogen zu beruhigen und seine Leuchtkraft zu erhöhen. Er hatte gefunden, daß der Zusatz von Pottasche oder Soda einen mindestens doppelt so langen, ruhigen und helleren Lichtbogen lieferte, indem diese Zusätze die störende Kieselsäure 6—7 mm von der Spitze entfernt fortschmolzen. Kalk und Strontiumoxyd verlängerten ihm ebenfalls den Bogen und färbten zugleich. Zusatz von Borsäure erhöhte die Brenndauer der Kohlen, indem sie einen glasigen Mantel bildete, welcher die glühenden Kohlen gegen den Luftsauerstoff schützte[1]. Anfangs tränkte Carré poröse Stücke von Retortenkohle, dann aber mischte er Kokspulver mit Sirup, Gelatine oder hochsiedendem Öl, das mit Harz verdickt war, und zog den gut durchgekneteten steifen Brei zu Stäben aus, indem er ihn durch die Öffnung eines Schneideisens trieb, welches am Boden einer starken Kolbenpresse befestigt war, die einen Druck von etwa 100 Atmosphären ausübte. Die gewonnenen

[1] Casselmann hatte bereits 1843 beobachtet, daß solche Beimengungen den Bogen verlängern und seine Leuchtkraft erhöhen (vgl. Kap. 14).

Kohlenstäbe von 2—12,5 mm Durchmesser und 50 cm Länge waren nach dem Brennen drei- bis viermal widerstandsfähiger und überhaupt viel fester als Retortenkohle; sie splitterten nicht und krümmten sich nicht beim Brennen[1]. 1876 ließ sich Carré folgende Mischung patentieren:

Sehr fein gepulverter reiner Koks	15 Teile
kalzinierter Ruß	5 „
Zuckersirup	7—8 „

Zum Brennen wurden die Stäbe in Kohlenpulver eingebettet[2].

Gaudoin stellte sich reinsten Koks aus Erdöl, Teer, Pech oder Harz selber her; als Bindemittel verwendete er Teer; dem Kokspulver setzte auch er Ruß zu. Seine Kohlen sollen besser gewesen sein als die von Carré. Damals wurde auch die hydraulische mit Dampf geheizte Strangpresse in die Elektrodenindustrie eingeführt.

Das große Ziel, das elektrische Licht zu teilen, wurde 1878 zuerst durch die Jablochkoffkerze erreicht; bald darauf ersann v. Hefner-Alteneck die Differentialbogenlampe für Wechselstrom und bildet sie vollkommen durch. Sie brannte das erstemal öffentlich Pfingsten 1879 in der großen Lindenpassage zu Berlin und wurde allgemein bewundert. Indessen gaben die Lampen mit den vorhandenen aus Retortenkohle geschnittenen viereckigen Stäben noch kein ruhiges Licht, weil es nicht gelang, den Bogen an einer Stelle festzuhalten. Deshalb stellten Siemens & Halske ihrer Zweigfirma Gebr. Siemens & Co., welche 1872 zur Herstellung von Alkohol- und Kondenswassermessern gegründet war und bereits den Hauptbedarf an diesen Apparaten gedeckt hatte, die neue Aufgabe, ruhig brennende Bogenlampenkohlen herzustellen. Die mühsamen Versuche von Hermann Viertel erreichten Ende 1879 dies Ziel durch die Dochtkohle, einen runden Kohlenstab mit einem Längskanal, in welchen ein wasserglashaltiger „Docht" eingespritzt wurde. Durch den Docht wurde der Lichtbogen festgehalten. Auf Vorschlag von Werner Siemens übernahmen Gebr. Siemens & Co. nun die Fabrikation aller Kohlenstifte für Bogenlampen. Der Bedarf stieg außerordentlich schnell. Es wurden Stifte bis zu 40 mm Durchmesser hergestellt. Die Patentprozesse um die Dochtkohle dehnten sich über mehr als ein Jahrzehnt aus[3].

Entwicklung in Amerika. Über die gleichzeitige Entwicklung der amerikanischen Lichtkohlenindustrie berichtet A. T. Hinckley[4] folgendes: 1876 begann Charles F. Brush, welcher als erster das Bogenlicht in Cleveland öffentlich zeigte, Petrolkoks als Rohstoff zu benutzen,

[1] 1878 benutzte Werner Siemens solche Kohlenelektroden, um Metalle in einem Tiegelofen durch die strahlende Hitze des Lichtbogens zu schmelzen.

[2] Carré: C. R. Acad. Sci., Paris Bd. 84 (1877) S. 346—348.

[3] Siemens-Z. Bd. 2 (1922) S. 523.

[4] Electr. Wld. N. Y. Bd. 78 (1921) S. 1263.

und zwar anfangs einfach den rohen Petrolkoks, welchen in seiner Nachbarschaft die Standard Oil Company bisher in Ermangelung einer besseren Verwendung zum Heizen ihrer Destillierapparate gebraucht hatte. Mit Hilfe einer Handpresse stellte Brush Stäbe von $^1/_2$ Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge her; sie schrumpften aber beim Brennen sehr stark. Er ging deshalb dazu über, den Koks unter Luftabschluß zu glühen (zu „kalzinieren") und dadurch die flüchtigen Bestandteile auszutreiben. Ferner ersetzte er die Handpresse, deren Druck nicht ausreichte, um die Masse genügend zu verdichten, durch eine hydraulische Presse. Von 1878 an fabrizierte er größere Mengen, wobei er Schritt für Schritt sein Verfahren verbesserte. Kohlenstifte von Brush benutzte 1886 Hall, als er sein Verfahren der Aluminiumgewinnung durch Schmelzelektrolyse erfand.

Jeden Kohlenstab einzeln zu pressen, kam auch den Amerikanern auf die Dauer zu teuer. Man ging dazu über, aus einer Düse zu spritzen. Aus dem bildsamen Gemisch von Kohlenpulver und Bindemittel (Teer und Pech) geformte kurze dicke Zylinder wurden in einen starken Stahlzylinder geschoben, der sich nach dem anderen Ende hin stark verjüngte und hier die durch hydraulischen Druck gezwängte Masse aus einer engen Öffnung austreten ließ. Vom heraustretenden Strang wurden dann nach dem Vorbild der Ziegelpresse die Stäbe abgeschnitten. Es bedurfte aber langer Versuche, bis allen Teilen der Presse die für den neuen Zweck geeignete Gestalt gegeben war und man gute Kohlen von 1—$1^1/_2$ Zoll Durchmesser 1895 fabrizieren konnte.

Als die Pittsburg Reduction Company das Aluminiumgewinnungsverfahren von Hall übernahm, bestellte sie als Anoden Kohlen von 3 Zoll (7,6 cm) Durchmesser und 18 Zoll (46 cm) Länge. Hierfür wurde eine neue Strangpresse mit einem Zylinder von $1^1/_2$ Fuß Durchmesser gebaut. Von 1898 ab wurden große Mengen dieser dreizölligen Elektroden geliefert.

Um die Jahrhundertwende gab der Ausbau der Wasserkräfte die wirtschaftliche Grundlage für die Entwicklung der elektrochemischen Großindustrie und zwang mittelbar die Elektrodenfabrikation zu weiteren Fortschritten. Die am Niagarafall errichteten Anlagen für Karbid, Karborundum und Acheson-Graphit brauchten Elektroden bis zu 20 cm Durchmesser, die etwa 1 Zentner wogen. Die steigende Nachfrage nach den Erzeugnissen des elektrischen Ofens führte in der Folgezeit zum Bau immer größerer Öfen, für die entsprechend große Elektroden nötig waren. Mit der Dicke der Elektroden wuchsen aber die Schwierigkeiten des Pressens und Brennens so stark an, daß man sich zunächst damit zu helfen suchte, daß man sie aus Platten zusammenfügte. Dieser Notbehelf brachte aber neue Schwierigkeiten mit sich. Wenn man die Platten miteinander verkittete, so schrumpfte der Kitt

in der Hitze des elektrischen Ofens und es entstanden Spannungen, welche zum Bruch führten. Verzichtete man aber auf den die Fugen ausfüllenden Kitt, so mußten die einzelnen Kohlen genau aufeinandergepaßt und verbunden werden, was teuer kam. Auch bei größter Sorgfalt des Zusammenbaues konnte man niemals erreichen, daß die einzelnen Teile der Elektrode gleichmäßig mit Strom belastet waren. Der Übergangswiderstand an den Berührungsstellen wechselte; einzelne Stellen wurden zu heiß und erglühten, die Kohle brannte aus und die Elektrode brach.

Die Amerikaner sahen sich deshalb genötigt, auch die großen Elektroden aus einem Stück zu machen und bauten Strangpressen für Elektroden bis 12 Zoll Durchmesser. Aber diese gespritzten Elektroden brachen leicht bei plötzlichen Temperaturänderungen. Manche Hersteller schoben die Schuld auf unvermeidliche Fehler beim Herauspressen der Masse und gingen dazu über, die Elektroden in einer Form zu stampfen. Anfangs stampfte man mit der Hand, bekam aber nicht genügend feste Elektroden. Deshalb baute man kräftigere mechanische Stampfer und verminderte dadurch das Auftreten von Trennungsschichten im Innern der Elektrode, bekam aber mit der feinkörnigen Petrolkoksmischung, die man damals benutzte, immer noch keine bruchfesten Elektroden. Deshalb verstärkte man die Kohlenmasse durch Einlagen aus Kohlenstäben oder Metall nach dem Vorbilde des Eisenbetons und des durch Drahtgewebe verfestigten Glases. Indessen führte gerade die verschiedene Ausdehnung von Metall und Kohle beim Erhitzen wieder zum Bruch; außerdem entstanden durch das Schwinden des Kittes höchst schädliche Risse. Eine wirkliche Abhilfe brachte die Einführung von Retortenkohle in die Mischung, welche die dicken Elektroden so verfestigte, daß sie auch bei schroffem Temperaturwechsel nicht brachen. Man hatte aber stets Schwierigkeiten, die geeignete Retortenkohle in genügend Mengen zu beschaffen; denn auch die aus derselben Retorte stammende Kohle ist sehr ungleich in Dichte und Festigkeit. Man suchte deshalb weiter nach einer besonders festen Kohlenart und wählte schließlich gewisse Sorten von dichtem aschearmem Anthrazit aus. Aber erst nachdem eine von der Behandlung des Petrolkoks ganz verschiedene Art des Entgasens, Zerkleinerns und Aussiebens für den Anthrazit durchgebildet war, erhielt man mit ihm vollwertige Elektroden.

Noch schwerere Forderungen stellte der Elektrostahlofen an die Elektroden, besonders wenn mit kaltem Schrotteinsatz gearbeitet wurde. Der unruhige Lichtbogen, welcher sich bald an der einen Stelle des Elektrodenendes einschnürte und es hier zur Weißglut erhitzte, bald auf eine andere Stelle übersprang, rief im Querschnitt der Kohle wegen der verschiedenen Ausdehnung Spannungen hervor, welche im Verein

mit den gewaltigen Stromstößen Stücke absprengten. Auch diese Beanspruchung wuchs mit zunehmendem Durchmesser der Kohle und trotzdem wurden für die gewaltigen Ströme immer dickere Elektroden gefordert. Man versuchte, graphitierte Elektroden zu bündeln, aber machte wieder die Erfahrung, daß die Festigkeit der Pakete nicht genügte, der Abbrand zu groß war, die einzelnen Kohlen sich einschnürten und brachen. Man entschloß sich, neue hydraulische Maschinen zu beschaffen, welche die beiden Verfahren des Stampfens und des Pressens vereinigten. Bei manchen dieser großen Pressen wird die Mischung lose eingeschüttet und dann in der Austoßkammer hydraulisch gepreßt. Bei anderen Pressen werden aus der Mischung erst Zylinder von der vollen Größe des Ausstoßzylinders geformt und auf eine nicht zu hohe Temperatur erwärmt, dann eingeschoben und ausgestoßen. 1910 war man imstande, einwandfreie Rundelektroden von 40 cm Durchmesser zu liefern, die fast $^1/_2$ Tonne wogen.

Im Weltkriege bewogen die ungeheuren Kriegslieferungen die Amerikaner, elektrische Riesenöfen bis zu 20000 PS zu bauen, für welche Elektroden im Gewichte von mehr als 1 Tonne zu Paketen vereinigt wurden. Gleichzeitig schuf man neue Einrichtungen zum Vorglühen der Rohstoffe, verbesserte die Mühlen durch die Verwendung von Manganstahl und vergrößerte die Pressen, die Brennöfen usw. gewaltig, um der nie dagewesenen Nachfrage mit Anspannung aller Kräfte zu entsprechen.

Aus dieser ausführlichen Schilderung der amerikanischen Entwicklung bitte ich aber nicht zu schließen, daß in Europa die Elektrodenfabrikation nachgehinkt wäre. Unbestritten hat freilich in der Erzeugung graphitierter Elektroden die Acheson Co. bis in den Weltkrieg hinein das Monopol gehabt; sie liefert jetzt noch sehr viel nach Europa, auch nach Deutschland. Aber mit der Entwicklung der elektrochemischen Industrie, besonders in den Alpenländern, hielt die Elektrodenfabrikation in Deutschland und einigen anderen Ländern gleichen Schritt. Der Weltkrieg zwang auch hier zu gewaltigsten Anstrengungen.

Die deutsche Elektrodenindustrie. In Deutschland wurde 1872 von Dr. Albert Lessing in Nürnberg die erste Fabrik galvanischer Kohlen gegründet. Auch er benutzte anfangs Retortenkohle, stellte jedoch zugleich nach den französischen Verfahren aus Kohlenpulver Platten und Stäbe her. Schon nach wenigen Jahren war das Heraussägen brauchbarer Stücke aus Retortengraphit veraltet und zu teuer; die Fabrikation der Kunstkohle beherrschte den Markt. Ebenso wie Bunsen stampfte man in eiserne Formen und stellte so auch Blöcke und Platten von rechtwinkligen Querschnitten her. Die Oberflächen wurden mit Messern und Spachteln geglättet; dann wurden die Kohlen in dem Ofen einer benachbarten Töpferei gebrannt, nachdem sie einzeln in Tongefäße luftdicht eingepackt waren. Nach kurzer Zeit wurde die

Töpferei von Dr. Lessing angekauft. Als später bei höherer Temperatur gebrannt wurde, mußte man die Kohlenkörper in Kohlenpulver von verschiedener Körnung einpacken, welches die Luft fernhielt, aber auch nicht mit den freiwerdenden Teerdämpfen auf den Kohlen festbacken durfte. Von Muffelöfen, welche mit Koks und Kohle gefeuert wurden und deren Abmessungen immer mehr wuchsen, ging man später zu dem Meiserschen Ringofen (seit 1890) über. Ebenso wichtig war die Einführung des mechanischen Pressens an Stelle des Stampfens von Hand. Alle Stücke von gleichmäßigem Querschnitt ließen sich in Strangpressen formen, die von der Nürnberger Firma Justus Christian Braun hergestellt wurden und bis heute zwar in vieler Hinsicht technisch vervollkommnet und vergrößert, aber im Grundgedanken nicht geändert worden sind. Körper von verwickelter Form wurden zunächst (1888) auf Handhebelpressen, sogenannten Kniehebelpressen, geformt, bis man 1892 auch für die sogenannten Blockformen hydraulische Pressen einführte. Die Herstellung von nassen galvanischen Elementen und Trockenelementen gab Lessing später auf, um sich desto eifriger der Herstellung der Kohlen, insbesondere für die neu erstandene Chloralkalielektrolyse und Karbidindustrie zu widmen. Er stellte als erster eine Kohlenplatte von hervorragender Härte und Reinheit her, welche sich auch für die Schmelzelektrolyse in schwierigen Fällen eignete. Mit der Vergrößerung der Elektroden wurden auch die Pressen immer schwerer; man ging vom waagerechten zum senkrechten Pressen über. Für das Brennen wurden die Temperaturen weiter erhöht, entsprechend einem von Borchers schon früh aufgestellten Grundsatze, daß eine Kohlenelektrode schon bei ihrer Herstellung möglichst auf die Temperatur zu erhitzen ist, bei der sie später gebraucht wird. Auch für die Aluminiumindustrie hat Lessing in den Jahren 1904—1906 die ersten guten Kohlen geliefert; hier hat die Entwicklung von der alten Blockpresse zu der modernen dreiteiligen Drehtischpresse geführt, welche in 24 Stunden 20 Tonnen Anoden zu liefern vermag.

Noch viel weiter reichen die Anfänge der Firma C. Conradty zurück, welche 1855 in Nürnberg vom Großvater der jetzigen Inhaber Eugen und Ottmar Conradty gegründet wurde. Aus kleinen Anfängen entwickelte sich das Werk Röthenbach an der Pegnitz zu einer der bedeutendsten Fabriken galvanischer Kohlen; bei Beginn des Weltkrieges hatte es eine Belegschaft von mehr als 3000 Mann. Auch hier stellte man anfänglich Kohlen für galvanische Elemente her, lieferte später Kohlenstifte für Bogenlampen (die Erzeugung von Effektkohlen wurde bis zum Kriege sehr groß) und Ofenelektroden für Karbid usw. Heute erzeugt Conradty alle Arten „künstlicher“ Kohlen, also Beleuchtungskohlen, Schweißkohlen, galvanische Kohlen, Kohlenbürsten, Mikrophonkohlen, „amorphe“ Kohlenelektroden bis zu sehr großen

Abmessungen und graphitierte Kohlen. Die Graphitierungsanlage von Conradty in Kolbermoor bei Aibling (Oberbayern) wurde während des Krieges gebaut und war die erste Großanlage dieser Art in Europa.

Die Planiawerke[1] in Ratibor (Oberschlesien) wurden 1895 von der Wiener Firma Hartmuth gegründet, um innerhalb des Deutschen Reiches an einer Stelle, wo Kohle billig und der Arbeitslohn niedrig war, Lichtkohlen und Elektrolysekohlen nach einem neuen Verfahren aus Anthrazit herzustellen. Um den wohlfeilen Anthrazit von seiner störenden Asche zu befreien, wurde Flußsäure verwendet, die Hartmuth in Ratibor selber aus Flußspat und Schwefelsäure gewann. Weil aber diese Reinigung sich im großen zu teuer stellte, baute der aus Schweden herbeigerufene Elektrodenfachmann Rudolphs 1898—1899 die Fabrik um, damit sie besonders für die junge Karbidindustrie die Ofenelektroden lieferte. Es wurden damals schon die Abmessungen 200 × 200 × 1600 mm hergestellt; größere Querschnitte wurden aus mehreren Elektroden zusammengefügt. 1899 wurde eine große Strangpresse von Dengg angeschafft. In jenen Jahren war Dr. Zellner, der Verfasser der ersten Auflage dieses Buches, als Chemiker bei den Planiawerken tätig. Bis zum Weltkriege hatten die Planiawerke auf dem Gebiete der Ofenelektroden die Führung; während des Weltkrieges errichteten sie gewaltige Neubauten. 1916 wurden die Planiawerke den Rütgerswerken eingegliedert, 1928 mit Gebr. Siemens zu den Siemens-Planiawerken vereinigt[2].

Das in dem amerikanischen Bericht von Hinckley erwähnte Stampfverfahren wurde in Deutschland von Gebr. Siemens & Co. erfunden und seit 1905 zur Herstellung von großen Elektroden für Karbid- und Stahlöfen benutzt. Die ersten Versuche wurden mit einer im Charlottenburger Werk umgebauten Gesteinsbohrmaschine gemacht, an der ein elektrisch bewegter Stampftisch angebracht war. Mit Hilfe dieser Einrichtung wurde ein Gemisch von zerkleinertem Anthrazit mit Kohlenpulver, Teer und Pech in geheizten Formen zu festen Körpern von verschiedener Größe und Gestalt gestampft. Auf dem Lichtenberger Grundstück der Kohlenstiftfabrik entwickelte sich seit dem Jahre 1907 die Elektrodenfabrik aus kleinen Anfängen; bald mußten die Ofenanlagen auf hinzugekauftem Gelände vergrößert werden. Für den wachsenden Bedarf an vorbereitetem Teer baute man im Jahre 1914 eine eigene Teerdestillation. Im Weltkriege wurde, um den gewaltigen Bedarf an Elektroden für Karbid, Elektrostahl und Aluminium zu decken, mit Beihilfe des Reiches im Jahre 1916 eine neue Elektroden-

[1] Der Name stammt von dem Flüßchen Plania, das bei Ratibor in die Oder mündet.

[2] Diese Angaben verdanke ich meinem Freunde, Herrn Prokurist Niessner, welcher seit 1895 bei den Planiawerken tätig ist.

fabrik auf dem Lichtenberger Gelände erbaut. Bei diesem Neubau wurden die bisherigen Erfahrungen berücksichtigt und die Verfahren verbessert. Vor allem legte man bei der Anordnung der Gebäude Wert darauf, unnötige Umwege zu vermeiden, was bei täglicher Bewegung

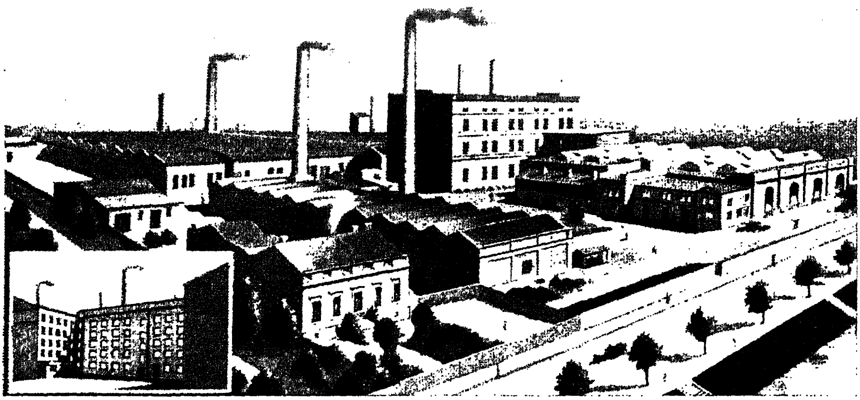


Abb. 1. Erste Anlage von Gebr. Siemens & Co. 1872 in Charlottenburg.

großer Mengen von außerordentlicher Bedeutung ist. Durch die neue Anlage wurde die monatliche Leistungsfähigkeit auf rund 2000 t ge-

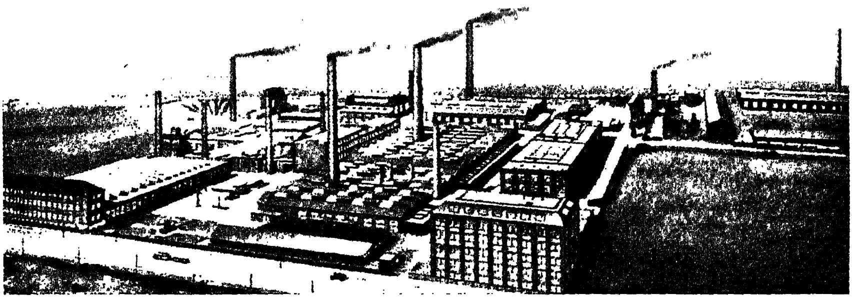
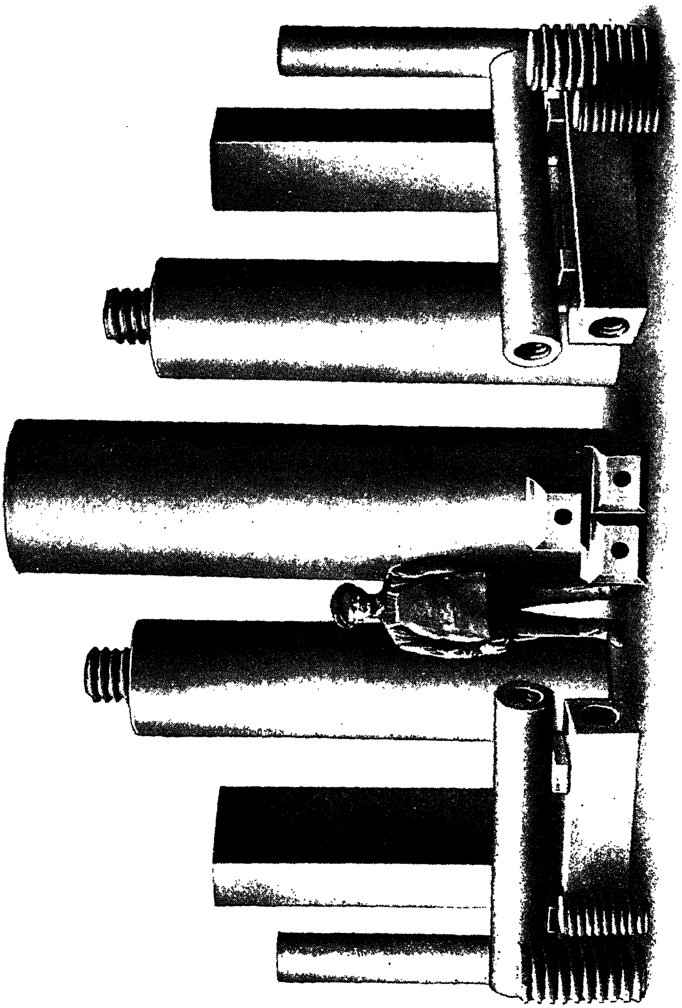


Abb. 2. Gebr. Siemens & Co. 1922 in Berlin-Lichtenberg.

steigert. Abb. 1 zeigt die erste Anlage 1872 am Salzufer in Charlottenburg, dicht bei der Technischen Hochschule, Abb. 2 das neue große Werk in Lichtenberg, welches über eine nutzbare Fläche von 75000 m^2 verfügt und 1922 außer 265 Angestellten 1500 Arbeiter beschäftigte[1].

[1] Siemens-Z. 1922 S. 532.

Vorn rechts an der Straße liegt das hohe Verwaltungsgebäude; im Hintergrund ist die während des Krieges gebaute „MF-Fabrik“ sichtbar. Ihr Erstehen habe ich miterlebt. Abb. 3 zeigt einige Siemenselektroden bis



Abl

zu den größten Abmessungen und Abb. 4 gewährt einen Blick in das Innere des ebenfalls im Weltkrieg gewaltig ausgebauten Ratiborer Werkes. Die runden Elektroden sind bis 800 mm dick und wiegen bei

einer Länge von 3 m bis 2,3 t. Die gebräuchlichsten Maße rechteckiger Elektroden sind 500 × 500 mm Querschnitt und 1800 mm Länge; die größten zur Zeit verwendeten haben 700 × 700 mm und 600 × 850 mm

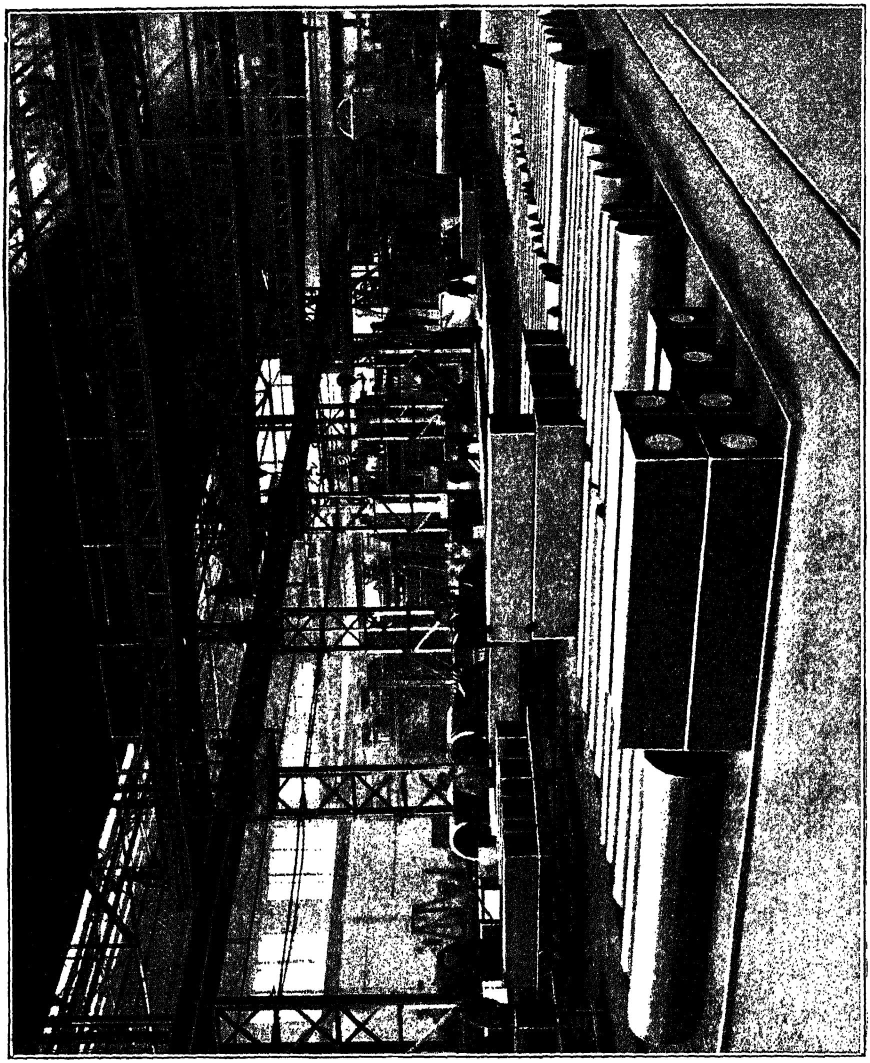


Abb Blick in di brik.

Querschnitt. Nach Ablauf der Patente Achesons stellten Gebr. Siemens während des Krieges Graphitelektroden in Lichtenberg mit Strom vom benachbarten Lichtenberger städtischen Elektrizitätswerk her. Seit 1922 ist ihre Graphitierungsanlage in Meitingen unweit Augsburg im

Gang, welche ihren Strom aus der Wasserkraft des Lech erhält. Nach der Vereinigung mit den Planiawerken wurde die Erzeugung der großen Ofenelektroden nach Ratibor übergeleitet. Von dort gelangen die zu graphitierenden Rundelektroden für Stahlöfen nach Meitingen.

Während des Weltkrieges wurde von Gebr. Siemens gemeinsam mit den Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerken auf Grund der mit Stinnes getroffenen Vereinbarungen eine Elektrodenfabrik im Knapsack bei Köln gebaut, neben dem Riesenkraftwerk der REW, nahe den gewaltigsten Braunkohlenlagern Deutschlands. Diese Fabrik sollte zunächst die danebenliegenden Rheinischen Elektrowerke von Stinnes, welche damals hauptsächlich Ferrolegierungen erzeugten, und dann andere Werke des Industriegebietes mit Elektroden versorgen. Das Werk wurde, kaum fertig, nach dem unglücklichen Kriegsende aufgegeben, und seine Räume dienen jetzt anderen Zwecken.

Um den großen Bedarf der im Kriege erstandenen Karbidwerke, Aluminiumwerke usw. zu decken, wurde auch von der Aktiengesellschaft für Teerfabrikation in Duisburg-Meiderich eine Elektrodenfabrik eingerichtet und eine neue Fabrik in Rauxel bei Dortmund gebaut, neben ihrer großen Kokerei und Teerdestillation, dicht am Schiffahrtskanal; die Fundamente wuchsen aus dem Wasser empor.

Die Leistungsfähigkeit der deutschen Elektrodenfabriken beträgt, einschließlich der graphitierten Elektroden, jährlich etwa 60000 bis 65000 t, ohne die eigene Erzeugung der Aluminiumwerke. Die Siemens-Planiawerke geben ihre Leistungsfähigkeit zu rund 50000 t an. Von der deutschen Erzeugung gehen rund 40% ins Ausland[1].

Ausländische Elektrodenfabriken. In Österreich lieferten Schiff & Co. in Schwechat bei Wien den in den Alpen arbeitenden Werken die Elektroden. Während des Krieges wurde in Dobrawa (Krain) eine Elektrodenfabrik gebaut, welche jetzt zu Jugoslawien gehört. In Frankreich wurde um die Jahrhundertwende nach dem Vorbilde von Hardtmuth in Venissieux bei Lyon von der Compagnie des Electrodes eine Fabrik errichtet, welche ebenso wie die Société des Carbures Métalliques in Notre Dame de Briançon (Savoien) die vielen Betriebe in den französischen Alpen mit Elektroden versorgt. Die 1884 als Société Lacombe begründete, seit 1892 Société Le Carbone genannte hervorragende Firma stellt dagegen in ihrem vor 10 Jahren neuerbauten Werke in Gennevilliers bei Paris (vorher in Levallois-Perret) hauptsächlich Kohlenbürsten und galvanische Elemente eigner Art her; ihre Zweigfabrik in Frankfurt a. M. ist jetzt eine selbständige Aktiengesellschaft (Deutsche Kohlen-

[1] Siemens-Z. Bd. 12 (1932) S. 11. Hier wird auch mitgeteilt, daß Siemens-Plania maßgebenden Einfluß auf die italienische Gesellschaft Societa Italiana dei Forni elettrici e dell' Elettrocarbonium hat, welche etwa 10000—12000 t leistet.

fabrik Carbone A.-G. in Frankfurt a. M.-Bonames)[1]. Italien besitzt seit vielen Jahren eine Elektrodenfabrik in Narni, Schweden in Höganäs-Billesholm. Die gesamte europäische Leistungsfähigkeit mag zur Zeit 110 000—120 000 t betragen.

In den Vereinigten Staaten ist der bei weitem größte Elektrodenerzeuger die National Carbon Co mit Werken in Niagara Falls, N. Y., Cleveland, Ohio, Clarkburg, W. Va., und Fostonia, Ohio. Abb. 5 stellt die Elektrodenfabrik in Niagara Falls dar. Daneben spielen eine bescheidenere Rolle die Republic Carbon Co in Niagara Falls und die Speer Carbon Co. in St. Marys, Pa.

Die Aluminum Co of America stellt sich ihre Riesenmengen von

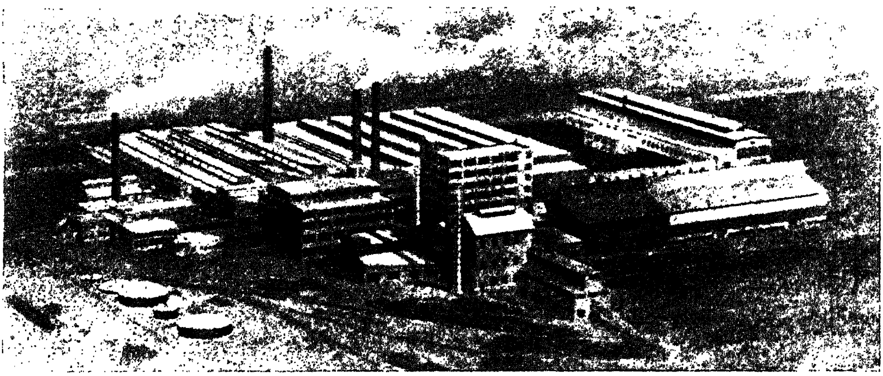


Abb 5. Elektrodenfabrik in Niagara Falls.

Elektroden (etwa 60 000 t jährlich) selber her, ebenso wie dies in Deutschland das Erftwerk in Grevenbroich (Niederrhein) und in der Schweiz die Aluminium-Industrie-AG. tun.

Auch in Kanada und Japan bestehen Elektrodenfabriken.

Zu der Elektrodenfabrikation gehört meist auch die Herstellung von Dynamobürsten, Mikrophonkohlen, Blitzschutzkohlen, Dichtungsringen aus Kohle usw.

Zweites Kapitel.

Rohstoffe.

Die wichtigsten Rohstoffe für die Elektrodenerzeugung sind Petrolkoks, Anthrazit, Retortenkohle, Teer und Pech. In zweiter Reihe kommen die aus Steinkohle gewonnenen Koksarten sowie Ruß und

[1] Außer dieser ältesten hat sie nacheinander Carbone-Firmen in England (London und Portslade), Brüssel, Mailand, Sundbyberg (Schweden), in den Vereinigten Staaten (Hoboken) und in Buenos-Aires gegründet.

Naturgraphit. Im folgenden sollen zunächst für die in der Natur vorkommenden Rohstoffe Anthrazit und Graphit, danach für die übrigen Rohstoffe die wesentlichen Kennzeichen angegeben werden.

A. Anthrazit.

Zusammensetzung. In der Stufenfolge Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit bildet der Anthrazit das Endglied der sich über gewaltige Zeiträume erstreckenden natürlichen Umwandlung von Pflanzen in immer kohlenstoffreichere Stoffe. Auch der Anthrazit enthält chemisch gebunden noch erhebliche Mengen von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, außerdem je nach seiner Reinheit größere oder geringere Mengen von anorganischen Verunreinigungen, die bei seiner Verbrennung als Asche zurückbleiben. Die quantitative Zusammensetzung wechselt sehr mit dem Standort und auch mit der Auswahl der Stücke. Die folgende Zahlentafel 1[1] hat deshalb nur sehr bedingte Geltung, im besonderen ist die Probe von deutschem Anthrazit ungewöhnlich aschenreich[2].

Zahlentafel 1. Anthrazit

Herkunft	C %	H %	O %	N %	S %	Asche %
Deutscher Anthrazit vom Piesberg bei Osnabrück	75,4	1,5	1,8	0,4	4,1	16,7
Englischer Anthrazit aus Wales:						
Ponticats	91,2	3,1	2,7	0,9	0,9	1,1
Timber-Flöz	93,0	3,1	1,7	0,5	0,7	1,0
Jones & Co.	91,4	3,5	2,6	0,2	0,8	1,5

Gewöhnlich bestimmt man nur den Gesamtgehalt an flüchtigen Bestandteilen, die Menge der Asche und das spezifische Gewicht. Die folgende Zahlentafel 2 stellt einige Werte zusammen.

Zahlentafel 2. Anthrazit.

Herkunft	Flüchtige Bestandteile %	Asche %	Dichte
Langenbrahm bei Essen	5,8	1,3	1,33
Wales	2,6	1,4	1,43
Wales	1,7	4,0	1,62
Schottland	1,5	5,8	1,57
Belgien	6—7	7—8	—
Rußland	1—5	6—17	—
Amerika	1,5—8,5	6—18	1,5

Die Zahlen für die ersten 4 Anthrazite[3] dieser Zahlentafel sind an

[1] Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. 1 S. 517.

[2] Zellner: Die künstlichen Kohlen, Berlin 1903, gibt für Anthrazit vom Piesberg 3,4—6,9% Asche an.

[3] Ich entnahm sie der Dissertation meines Schülers A. Pollack. Für belgischen und russischen Anthrazit fand ich die Zahlen bei Zellner, für den amerikanischen Anthrazit bei Mantell: Industrial Carbon, S. 270, New York, 1928.

großen, ausgewählt schönen Stücken erhalten worden. Deshalb ist der Aschegehalt dieses Langenbrahm-Anthrazites sehr niedrig; im allgemeinen gibt der deutsche Anthrazit 3—7% Asche. Über die Zusammensetzung der Asche gibt Zahlentafel 3 einige Auskunft.

Zahlentafel 3. Anthrazit.

Herkunft	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	CaO %	MgO %
Langenbrahm	15,7	37,5	31,8	5,5	0,3
Wales	23,9	26,4	38,2	7,3	Spur

Einer Veröffentlichung von Dr. Redlich[1] entnehme ich die folgenden Zahlen für den in Ugine von der Soc. An. Electrométallurgique Procédés Paul Girod verwendeten Anthrazit (Zahlentafel 4).

Zahlentafel 4. Anthrazit.

Asche	2,8%
Flüchtige Bestandteile	6,3%
Eisenoxyd	0,3%
Schwefel	0,8%
Phosphor	0,03%

Aufbereitung des Anthrazits. Nicht selten ist in den Anthrazit schieferiges Gestein eingelagert. Nach dem Zerkleinern kann man es durch Rättern beseitigen, insoweit die schmalen schieferigen Streifen zwischen den Stäben hindurchfallen, während die breiteren Anthrazitbrocken auf dem Rättersieb verbleiben. Die inniger mit dem Anthrazit vereinigten Beimengungen von Ton, Schlamm und Sand lassen sich durch Waschen teilweise entfernen.

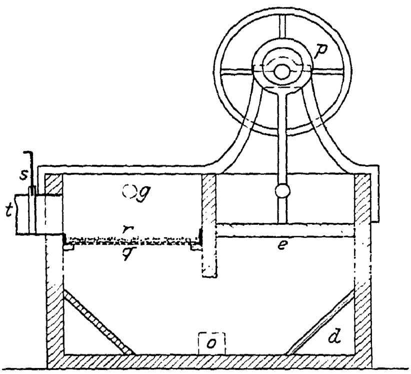


Abb. 6. Setzmaschine.

Um durch Waschen die beigemengten Gesteinsstücke, die „Berge", möglichst zu entfernen, bedient man sich der „Setzmaschine" (Abb. 6). In einem viereckigen eisernen, mit Wasser gefüllten Kasten, der durch eine nicht bis zum Boden reichende Scheidewand geteilt ist, wird durch den Exzenter p der den Querschnitt ausfüllende Kolben e auf und ab bewegt. Durch das Niederstoßen des Kolbens wird das Wasser unter der Scheidewand hindurch in der linken Abteilung hochgepreßt. Diese Abteilung ist einige Dezimeter unter dem Kastenrand durch waagerechte herausnehmbare Siebe q abgeschlossen, über welche ein kräftig flutender Wasser-

[1] Stahl u. Eisen 1912 Nr. 45.

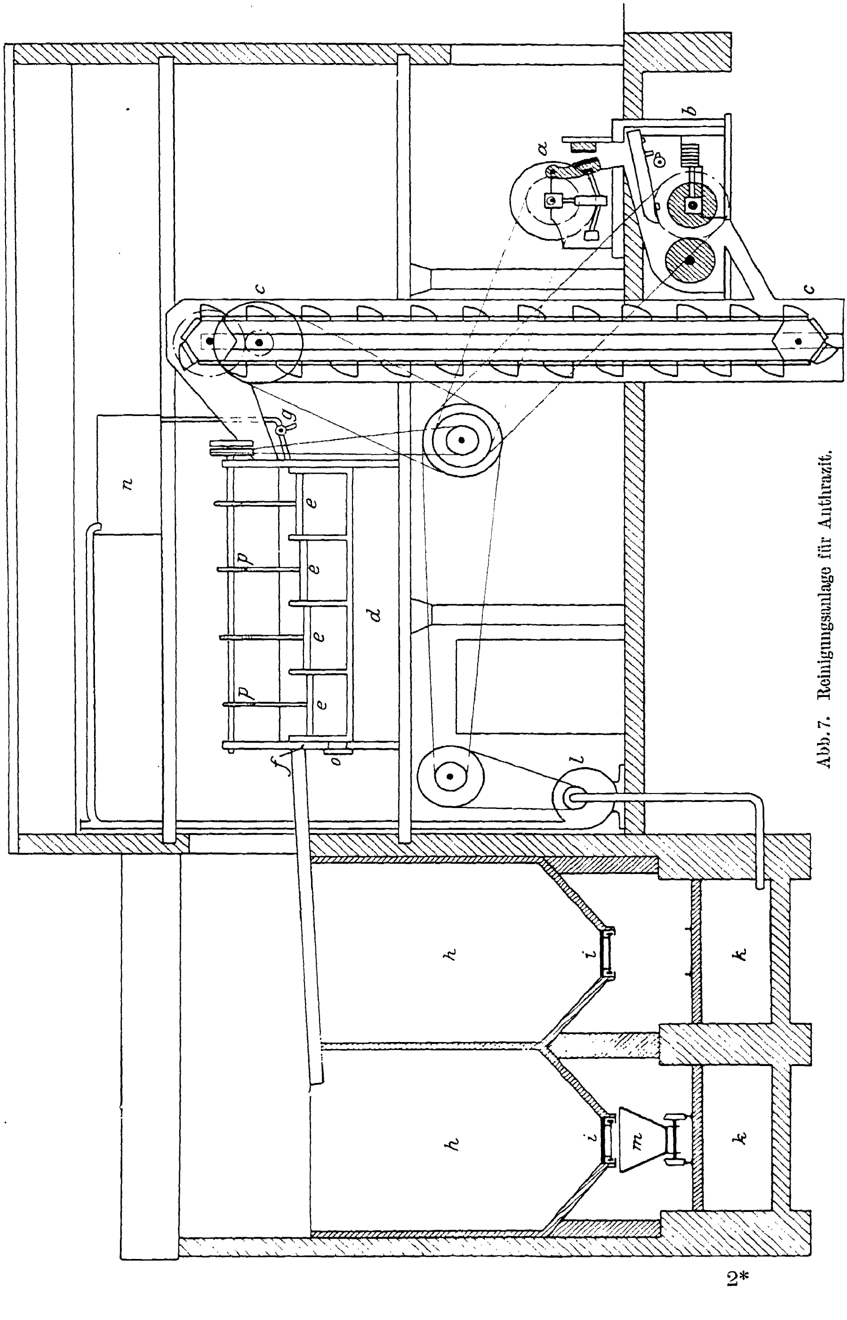


Abb. 7. Reinigungsanlage für Anthrazit.

strom die zu waschende Rohkohle spült. Durch den Stoß des Kolbens wird die Kohle gehoben; nachher sinken die im Wasser schwebenden Stücke, und zwar um so rascher, je schwerer sie sind. Infolgedessen sammeln sich die Berge auf dem Siebe an, die reinen Kohlenstücke werden dagegen von dem über die Siebe flutenden Wasserstrom ständig über den Rand der Setzmaschine gehoben und durch einen Gefluter abgeführt. Die auf den Sieben sich ansammelnden Waschberge werden selbsttätig entfernt. Diese Anordnung kann Tag und Nacht ununterbrochen arbeiten. Wo die Kohle mit den Bergen innig verwachsen ist, müssen die Kohlen vor dem Waschen zerkleinert werden, um die eingewachsenen Berge nach Möglichkeit abzutrennen[1].

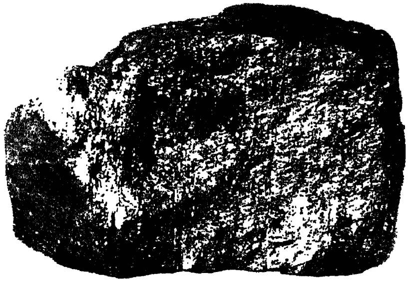


Abb. 8. Deutscher Anthrazit von Langenbrahm. $^1/_5$ nat. Gr.

Abb. 7 zeigt das Schema einer solchen Reinigungsanlage. Der in großen Klumpen geförderte Anthrazit wird zunächst zerschlagen und durch Auslesen von grobem Gestein befreit, dann im Steinbrecher *a* und im Walzenstuhl *b* zerkleinert, durch das Becherwerk *c* gehoben und in die Setzmaschine *d* gebracht. Der Wasserstrom tritt bei *g* ein (Abb. 6) und führt die gereinigte Kohle mit sich durch die Öffnung *f* in die hölzernen Taschen *h*. Das bei den Schiebern *i* abtropfende Wasser wird aus dem Behälter *k* durch die Pumpe *l* zum Hochbehälter *n* emporgefördert, von wo es wieder zur Setzmaschine herabströmt. Die Kohle fällt durch die Schieberöffnungen in die Wagen *m*. Nach Zellner liefert ein Setzkasten von 4 m Länge und 1,7 m Breite in 24 Stunden etwa 10 t gewaschene Kohle. Die Berge werden nach Öffnen des Schiebers *s*



Abb. 9. Englischer Anthrazit.

[1] Miethe: Die Technik des 20. Jahrhunderts Bd. 1 S. 115. Braunschweig 1911.

(Abb. 6) durch die Austragrinne *t* abgeführt. In den Bergen findet man besonders den schweren Schwefelkies.

Je weniger Asche der Anthrazit enthält, um so wertvoller ist er.



Abb. 10. Schottischer Anthrazit. 1/6 nat. Gr.

Für die Elektrodenfabrikation sind besonders Einsprengungen von Schwefelkies unerwünscht. Solche Stücke müssen nach Möglichkeit

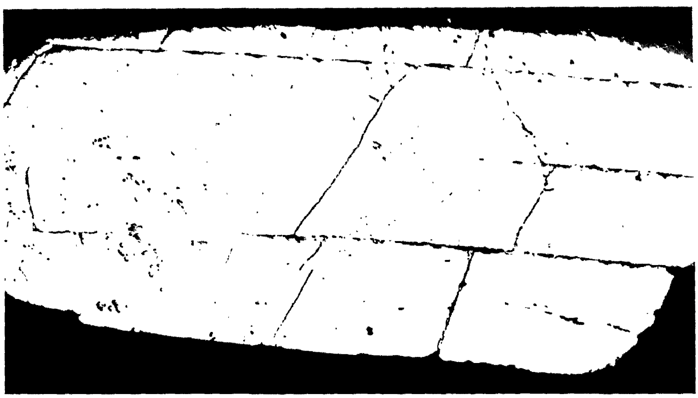


Abb. 11. Anthrazit. V

ausgesondert werden, weil sonst beim Brennen an den Stellen, wo der Schwefelkies vorhanden war und sich umwandelte, in den Elektroden Fehler auftreten können. Auch Anthrazit, welcher zuviel flüchtige Bestandteile enthält, ist unbeliebt, weil er beim Entgasen porenreiche

Kohle ergibt, die nachher beim Mischen viel Teer verschlucken und eine Elektrode von ungenügender Festigkeit verschulden kann.

Gefüge des Anthrazits. Ebenso wichtig wie die chemische Zusammensetzung ist das Gefüge des Anthrazits. Die verschiedenen Sorten zeigen eine mehr oder minder ausgeprägte Schichtung (Abb. 8—10). Angeschliffene Stellen zeigen bei mäßiger Vergrößerung den quaderartigen Aufbau (Abb. 11). Je älter der Anthrazit ist, um so geringer ist sein Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und um so höher im allgemeinen seine Festigkeit[1]. Leicht zerbröckelnder Anthrazit eignet sich nicht so

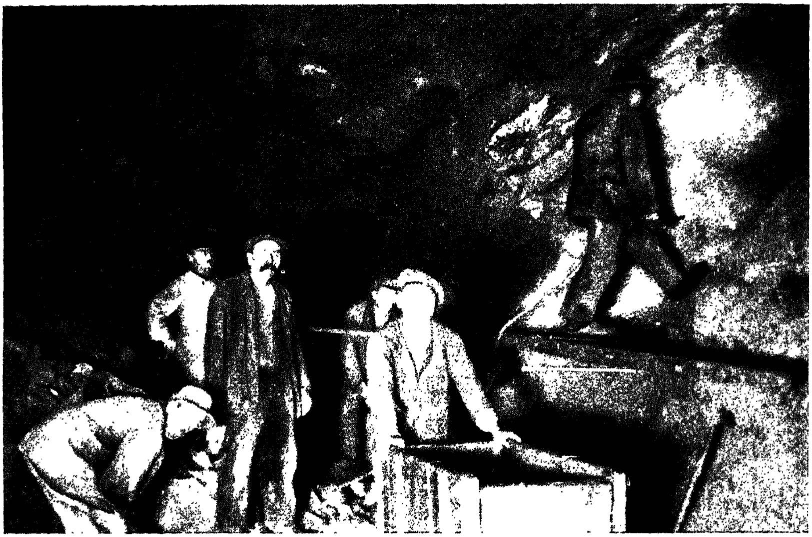


Abb. 12. Unterirdischer Graphitabbau in Kropfmühl.

gut wie der dichte feste Anthrazit von höherem geologischen Alter.

Leitfähigkeit des Anthrazits. Jüngerer Anthrazit leitet den elektrischen Strom fast gar nicht, älterer Anthrazit besitzt dagegen eine nicht unerhebliche Leitfähigkeit. Beim Glühen nimmt oberhalb 600° der elektrische Widerstand des Anthrazits erst rasch, dann langsamer ab; er wird durch mehrstündiges Erhitzen über 1000° für alle Anthrazitsorten bis auf etwa 60—70 Ohm heruntergedrückt (bezogen auf 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt). Röntgenaufnahmen zeigen bei dem älteren Anthrazit schon vor dem Glühen ganz deutlich die Anthrazitlinien, welche bei jüngerem Anthrazit erst nach dem Glühen hervortreten.

[1] In der Vorzeit der Erde kann auch durch hohe Temperaturen das Altern mancher Anthrazite beschleunigt worden sein.

B. Graphit[1].

Vorkommen des Graphits. Zu der Mischung für Kohlenbürsten wird häufig weicher „flinziger" Graphit verwendet. Der Graphit kommt an zahlreichen Stellen vor. In Deutschland finden sich zahlreiche und große Graphitnester an der Donau bei Passau; sie wurden schon im Mittelalter für die Herstellung der berühmten Passauer Tiegel in sehr einfacher Weise ausgebeutet. Von ausländischen Graphiten ist besonders der Ceylongraphit berühmt; seine besten und reichsten Lager sind indessen schon zum großen Teil abgebaut, und ein gewaltiger Nebenbuhler ist ihm im Madagaskargraphit erstanden.

Der natürliche Graphit, welcher sich, wie gesagt, an vielen Orten



Abb. 13. Madagaskar-Graphit (aufbereitet). V = 70.

der Erde findet, aber nur an verhältnismäßig wenigen Stellen in solcher Menge und Beschaffenheit, daß sich seine Gewinnung in großem Maßstabe lohnt, wird als blättriger und als erdiger Graphit unterschieden; zwischen beiden Grenzen sind zahlreiche Übergänge vorhanden. Der Passauer Graphit ist schuppig, Ceylongraphit oft stengelig, bester Madagaskargraphit großblättrig. Von diesen flinzigen metallglänzenden Graphitarten unterscheidet sich andererseits z. B. der erdige böhmische Graphit schon durch seine matte Farbe und seine geringere Dichte.

Abb. 12 zeigt den unterirdischen Abbau auf dem neuzeitlichen Graphitwerk Kropfmühl bei Passau.

Die flinzigen Graphiterze enthalten besonders große Mengen mine-

---

[1] Ryschkewitsch, E.: Graphit. Leipzig, S. Hirzel, 1926.

ralischer Beimengungen. Manche von ihnen sind in Wirklichkeit kristallinische Schiefer, in denen der Graphit, der Bildung des Gesteins folgend, abgeschieden ist. Die gewöhnlichen Verunreinigungen sind Glimmer, Kalzit, Quarz, Magnesium- und Aluminiumsilikate. Bei stark verwitterten Erzen sind manche dieser Mineralien nicht mehr zu erkennen, indem sie sich in tonartige Massen verwandelten. Durch die Verwitterung reichert sich das Erz an Graphit an; deshalb enthält das Passauer Erz 30—50% Graphit, während unveränderte Erze, z. B. manche kanadische Lagerstätten, nur 30—40% Graphit aufweisen. Von den Verunreinigungen ist der Glimmer am schwersten zu entfernen[1].

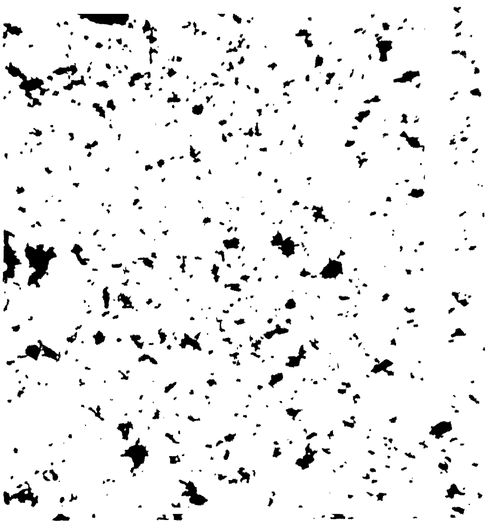


Abb. 14. Roher Graphit (Aflonz). V = 70.

Eigenschaften des Graphits. Guter flinziger Graphit soll metallisch glänzen und sich zwischen den Fingern fettig anfühlen, indem die Graphitblättchen beim Reiben aufeinander gleiten. Kratzende Teilchen darf er nicht enthalten. Abb. 13 ist eine Mikroaufnahme von großblättrigem Madagaskargraphit; die einander unter einem bestimmten Winkel treffenden Striche sind nicht so sehr als Umgrenzungen von Kristallen, sondern wohl mehr als Gleitlinien aufzufassen. Sie deuten darauf hin, daß der Graphit in der Vorzeit unter hohem seitlichem Druck flinzig geworden ist. Abb. 14 zeigt bei der gleichen Vergrößerung die winzigen Teilchen von rohem Graphit aus Aflonz (Steiermark) und Abb. 15 aufbereiteten 99,5prozentigem Pudergraphit aus Kropfmühl. Der reinste Graphit zeigt die Dichte 2,23[2].

[1] Der niedrige Schmelzpunkt des Glimmers macht den Graphit für Schmelztiegel minderwertig. Dies ist aber die wertvollste und wichtigste Verwendung für den Naturgraphit. Schätzungsweise werden drei Viertel der Weltausbeute für Graphittiegel gebraucht. Bei der Aufbereitung geht in Amerika im Mittel nicht weniger als die Hälfte des im Erz enthaltenen Graphits für diesen Zweck verloren, weil zuviel Pulver entsteht. Die Wirtschaftlichkeit hängt davon ab, wieviel Flinz I erzeugt wird, den man für die Tiegel verlangt. Flinz II und Staub werden zu schlecht bezahlt.

[2] Diesen Wert erhielt Ryschkewitsch an Tröpfchen von geschmolzenem künstlichem Graphit. Pirani und Fehse fanden an Graphitdrähten, die aus Kohlenwasserstoffen bei höchster Glut gewonnen waren, Werte zwischen 2,06 und 2,23.

Die Graphitblättchen sind biegsam und lassen sich sehr leicht zerreißen. In der Längsrichtung läßt sich das Graphitblättchen leicht spalten, dagegen in anderer Richtung schwer ritzen. Während man also wegen seiner geringen Widerstandsfähigkeit in der Hauptebene den Graphit zu den weichsten Mineralien zählt, erscheint er senkrecht dazu als hart. Der blättrige Graphit leitet die Wärme ausgezeichnet und den elektrischen Strom gut. Der spezifische Widerstand von Ceylongraphit wird z. B. zwischen 125000 und 25000 Ohm angegeben, bezogen auf 1 mm² Querschnitt und 1 m Länge. Beim Pressen nimmt der Widerstand erst rasch, mit weiterer Druckerhöhung immer langsamer ab. Unter einem Drucke von etwa 150 Atmosphären fand ich für einen guten Graphit mit 8% Asche den spezifischen Widerstand 100, für einen schlechten Graphit mit 30% Asche einen fast doppelt so hohen Wert. In Wirklichkeit beruht dieser Widerstand hauptsächlich auf den Übergangswiderständen zwischen den einzelnen Graphitteilchen. An ihren Graphitdrähten fanden Pirani und Fehse[1] sogar einen kleinsten Widerstand 0,5, und zwar nahm hier der Widerstand mit steigender Temperatur ebenso wie bei den Metallen zu, während er sonst bekanntlich beim Graphit sinkt, was aber mit der Abnahme der Übergangswiderstände zusammenhängt.



Abb. 15. Pudergraphit (99,5%) von Kropfmühl. V = 70.

Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen hat auf Grund des Beugungsspektrums ergeben, daß der Graphit zum trigonalen Kristallsystem gehört. Durch einseitige Verformung sind parallele Sechsringe platt aneinandergelegt.

Der erdige Graphit ist manchmal sehr weich und ähnelt dem Ruß, manchmal ist er stark mit Gangart verwachsen und ähnelt dem Anthrazit. Während dieser dichte, sehr unreine Graphit tiefschwarz ist, kommt Ceylongraphit öfter in grauen großen Klumpen vor, die fast reinen Kohlenstoff darstellen. Dieser Graphit fühlt sich fettig an, läßt aber unter dem Mikroskop auch bei stärkster Vergrößerung kaum einzelne

[1] Z. Elektrochem. Bd. 29 (1923) S. 173.

Blättchen erkennen, während andere Klumpen beim Zerstoßen schimmernde Blättchen liefern.

Ausgesprochen schuppig ist der in Kalk eingesprengte Graphit, wie er z. B. bei Passau vorkommt. Er wird wegen seines Glanzes als Silbergraphit bezeichnet. Die großen Graphitschuppen von mehreren Millimeter Länge, wie sie aus Madagaskar kommen, sind auf Glimmer abgeschieden und hinterlassen beim Verbrennen ein Glimmerskelett.

Wie aus dem Vorstehenden erhellt, ist die Zusammensetzung des Rohgraphites sehr verschieden; auch am selben Fundort werden neben Klumpen hochwertigen Graphites sehr stark mit Gangart verunreinigte Massen gefördert. Daher geben die Zahlen der folgenden Tabellen 5 und 6, die ich mir aus dem Buche von Kausch[1] zusammengesucht habe, nur einen sehr unsicheren Anhalt.

Zahlentatel 5. Naturgraphit.

Fundort	Flüchtige Bestandteile %	Kohlenstoff %	Asche %
Passau	3,5	42,7	54,0
Steiermark	1,6	73,3	25,1
Böhmen	2,6	43,9	53,5
Ceylon	5,0	68,5	32,5
Madagaskar	5,2	70,7	24,1

Zahlentafel 6. Naturgraphit.

In der Asche	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	$CaO + MgO$ %	Alkali %	S %	P %
Passauer Graphit	54	35	7	1,7	2,2	?	?
Steirischer Graphit	59	32	5	1,8	2,0	Spur	0,2
Böhmischer Graphit	45	13	34	5,1	?	3,0	?
Ceylongraphit	50	42	8	—	—	—	—
Madagaskargraphit	60	?	7	1,2	0,6	?	?

Aufbereitung. Der mehr oder weniger durch Gangart verunreinigte Graphit, welchen die Arbeiter schon in der Grube nach Möglichkeit ausgelesen haben, wird über Tage aufbereitet. Oft enthält er nur 40—60% Graphit; hochhaltige Graphitklumpen sind verhältnismäßig selten. Meist liegt der rohe Graphit in Steinbrocken von mehreren Kilogramm vor. Er wird zunächst durch Backenbrecher, Walzenbrecher, Kugelmühle oder Rohrmühle zerkleinert. Damit beim Mahlen die wertvollen Blättchen möglichst geschont werden, verwendet man vorzugsweise die Naßrohrmühle, durch welche beim Mahlen beständig ein Wasserstrom geleitet wird. Zum Schluß kann man zwischen waagerechten Mühlsteinen trocken mahlen. In Amerika benutzt man auch Pochwerke, welche den Vorteil haben, daß sie die Schuppen nicht zerreißen.

[1] Kausch, O.: Der Graphit. Halle 1930.

Auf das Mahlen folgt das Klassieren, welches die Trennung von der Gangart bezweckt. Durch Schlämmen in Spitzkästen oder Setzkästen oder in Zentrifugen kann man die Körnchen schwereren Gesteines vom Graphit ziemlich weitgehend trennen. Das Wasser reißt fast den ganzen aufgeschlossenen Schuppengraphit mit, während die groben Körnchen der Gangart sich unten absetzen. Die beste Vorrichtung zum Reinigen des Graphits ist der naß arbeitende Schüttelherd. Er ist etwa 3 m lang und $1^1/_2$ m breit. Seine mit Längsrillen versehene Tischplatte wird durch eine Exzentervorrichtung in der Längsrichtung dauernd geschüttelt. Quer dazu ist die Platte ein wenig unter einem genau einstellbaren Winkel geneigt. Bei der Bauart von Ferraris (Abb. 16) wird beim Vorwärtsstoßen der Herd etwas gehoben, beim

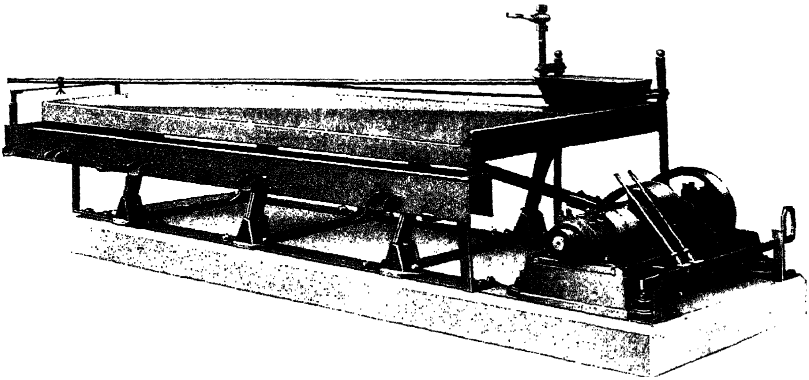


Abb. 16. Schüttelherd.

Rückstoß gesenkt. Die eigentliche Herdplatte ist mit dickem Linoleum belegt, welches von den Rillen im Abstande von etwa 1 cm durchzogen wird. Die Tiefe der Rillen nimmt gegen das hintere Ende des Herdes ab und ganz am Ende hören die Rillen überhaupt auf. Die aus der Zentrifuge oder unmittelbar aus der Rohrmühle kommende Erztrübe gelangt durch einen Schlitzverteiler vorn am oberen Tischende auf den Schüttelherd, während gleichzeitig hier Frischwasser aus zahlreichen Öffnungen zufließt. Durch die Stöße werden die festen Teilchen auf der Herdplatte in den Rillen vorwärtsgetrieben, durch die Rückstöße aber kaum bewegt, weil nämlich der Schüttelherd sich bei jedem Rückstoß etwas senkt. Die verschiedenen Klassen der Körnung ordnen sich nun so, daß die schwersten Körnchen am Boden der Rillen die kräftigsten Stöße empfangen und deshalb am weitesten getrieben werden. Während derart die schweren Körnchen in den Rillen weiter wandern, werden die leichten Körnchen und der Flinzgraphit durch das Wasser quer über die Rillen hinweg auf die andere Seite des Herdes gespült. Die leichtesten Teilchen und die schwimmfähigsten Graphitblättchen, aber auch

Glimmer, werden vom Wasser schon am vorderen Ende des Herdes in eine Sammelrinne gespült. Die Zahl der Stöße muß mit der Tiefe der Rillen im Einklang sein, damit nicht Wirbel entstehen, welche die Scheidung vereiteln können. Meist muß hinter dem ersten ein zweiter Schüttelherd eingeschaltet werden, um das vom ersten gelieferte Konzentrat noch weiter anzureichern. Jeder Herd verbraucht etwa 50 Liter Wasser in der Minute und liefert in der Stunde etwa 100—150 kg Graphitkonzentrat. Die Stoßzahl beträgt beim gewöhnlichen Erzkorn von etwa $^1/_2$—1 mm Durchmesser 250—300 in der Minute; Schnellstoßherde für besonders feinkörniges Erz führen bis 500 Stöße in der Minute aus. Der Hub beim Stoß beträgt zumeist etwa 20 mm. Durch Anwendung des Schwimmverfahrens (Flotation) erleichtert man die Herdarbeit, indem man der Trübe etwas Öl von geeigneter Art zusetzt. Das Öl benetzt die Gangart nicht, wohl aber den Graphit, und verleiht dadurch auch den schwereren Graphitteilchen eine genügende Schwimmfähigkeit. Leider werden bekanntlich auch Sulfide benetzt, und es kann deshalb z. B. Schwefelkies mit dem Graphit fortgeschwemmt werden, den man gerade aus dem Graphit möglichst fortbringen will. In dieser Hinsicht leistet das gewöhnliche Verfahren ohne Ölung besseres, indem man nach guter Mahlung den schweren Schwefelkies sogar gesondert auf dem Schüttelherde abfangen kann. Im übrigen erleichtert aber der Ölzusatz, wenn er richtig gemacht wird, das Ausbringen an Graphit. Von der großen Wassermenge trennt man den aufbereiteten Graphit zunächst durch Absetzen und dann durch Abpressen, schließlich durch Trocknen.

Auf die mechanische Reinigung folgt, wenn man einen besonders reinen Graphit haben will, eine chemische Reinigung, indem man mit Flußsäure die beigemengten Silikate herauslöst. Nach DRP 109533 wird der Graphit mit Ammoniumfluorid vermengt und erhitzt. Die entstandenen löslichen Fluorsalze werden ausgewaschen und der am Graphit verbliebene Teil der unlöslichen Fluoride wird mit Natriumbisulfat entfernt. Die letzten Reste Flußsäure müssen durch starkes Erhitzen fortgetrieben werden. Diese chemische Reinigung ist teuer. Auch durch Erhitzen im elektrischen Ofen über 2000° lassen sich die Silikate forttreiben.

Kropfmühl. Während des Krieges wurde bei Passau das Graphitwerk Kropfmühl AG. gegründet, welches aus einem fast 600 ha umfassenden Grubenfeld in einem bis etwa 100 m in die Tiefe gehenden Bergbau den Rohgraphit fördert und ihn mit vollkommenen Einrichtungen aufbereitet. 1930 wurden rund 14000 t gefördert. Durch mechanische und chemische Reinigung wird der Graphit bis auf 99% angereichert. Abb. 17 gewährt einen Blick in die Kropfmühler Aufbereitungsanlage.

Deutsche Erzeugung. Deutschland soll 1921 über 24000 t Graphit

gefördert und 2400 t Flinz mit durchschnittlich 85% Kohlenstoffgehalt geliefert haben.



Abb. 17. Aufbereitungs-Anlage in Kropfmühl.

C. Petrolkoks.

Gewinnung. Petrolkoks wird als Rückstand bei der Destillation von Erdöl erhalten; wegen seiner Reinheit ist er der wichtigste Rohstoff

für die Fabrikation besonders der Aluminiumanoden. Leider wird er bei der üblichen Destillation nur in sehr geringen Mengen erhalten, weil man heutzutage meist möglichst viel Benzin gewinnt und die Koksbildung vermeidet. Nur wenn man besonders auf Koks destilliert, gewinnt man aus dem paraffinhaltigen mehr oder minder koksreichen Rückständen des Erdöls größere Mengen. Ursprünglich destillierte man in Gußkesseln, später in Kesseln, deren Böden aus Gußeisen oder Stahlguß, deren Mäntel und Decken aus Schmiedeeisen bestehen[1]. Man destilliert entweder gänzlich ohne oder mit Unterstützung von Dampf. Auch kontinuierliche Krack-Destillation ist wiederholt durchgeführt worden, wobei man die letzten Kessel der Batterie parallel schaltet, um sie abwechselnd von Koks zu reinigen. Je höher

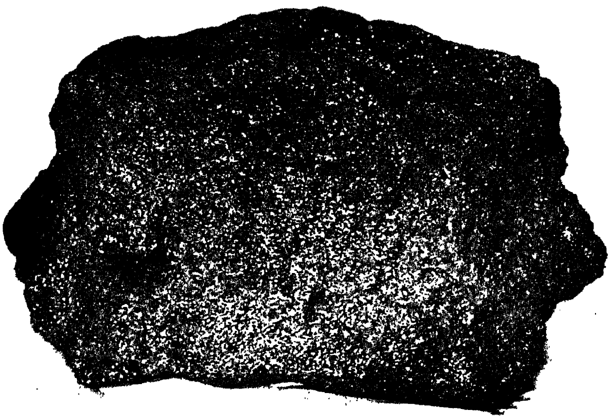


Abb. 18. Amerikanischer Petrolkoks. $^1/_3$ nat. Gr.

die Temperatur ist, die man beim Destillieren erreicht, um so weniger flüchtige Bestandteile enthält der Petrolkoks. Man geht deshalb mit der Temperatur so hoch als möglich ist, ohne die Böden der Kessel zu beschädigen. Nach beendigter Destillation läßt man den Kessel 4—6 Stunden abkühlen. Dann steigen Arbeiter, deren Hände, Kopf und Füße durch nasse Tücher geschützt sind, durch das Mannloch hinein, brechen den Koks mit schweren Eisenstangen von den Wandungen und dem Boden des Kessels los und werfen ihn heraus. Wegen der großen Hitze können die Leute nur kurze Zeit im Kessel verweilen. Der herausgebrachte Koks wird durch Bespritzen mit Wasser abgekühlt.

[1] Man verwendet auch liegende zylindrische Krack-Kessel. Die Kessel sind mit den in der Schmieröldestillation üblichen Fraktioniereinrichtungen versehen.

Eigenschaften des Petrolkoks. Die Elektrodenfabriken bekommen den Petrolkoks in Stücken von Apfelgröße bis zu Blöcken von Kürbisgröße. Der Koks besteht aus mehreren Sorten. Der Teil, welcher zunächst der Kesselwand sich abgeschieden hat, ist härter und ärmer an flüchtigen Bestandteilen, aber auch reicher an Asche und löslichem Salz als die oberen blasigen Teile der Kokskruste. Während der Destillation senkten sich vermutlich die mineralischen Verunreinigungen des Öles allmählich zu Boden.

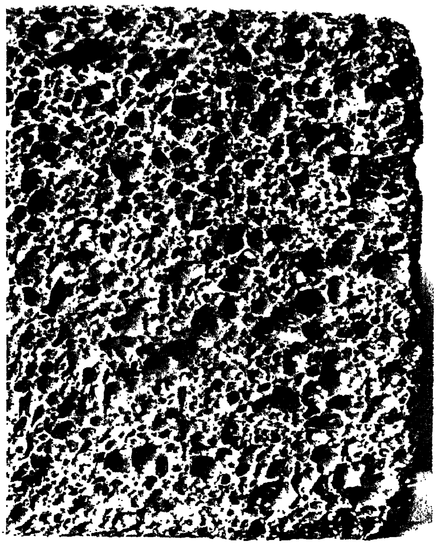


Abb. 19. Petrolkoks (aussortiert). 7/10 nat. Gr.

Die zunächst der Kesselwand liegenden „Schalen" oder „Rinden" enthalten gewöhnlich 1—3% lösliche Salze, besonders Kochsalz. Dieser Gehalt an Kochsalz, welcher beim galizischen Petrolkoks besonders groß ist, schadet beim Entgasen (Kalzinieren) des Petrolkoks, indem das Kochsalz sich in der Glut verflüchtigt und das Mauerwerk durch Bildung leicht schmelzbarer Silikate zerstört. Es ist deshalb zweckmäßig, solche kochsalzreichen Anteile für sich zu vergasen.

Von diesem „Schalenkoks" oder „Rindenkoks" unterscheidet man den inneren sehr porigen Teil der Kruste, der wenig Asche enthält und leicht zu brechen ist, als „Blasenkoks". Beim Herausbrechen entsteht der „Staubkoks"[1].

Man kann das Salz durch Waschen entfernen. In Ugine werden dazu Kammern benutzt, die jede etwa 140 m³ fassen. Durch dreimaliges Waschen wurde der Salzgehalt auf fast den fünften Teil herabgesetzt. Zahlentafel 7 zeigt den Erfolg des Waschens[2].

Zahlentafel 7. Petrolkoks.

	Vor dem Waschen %	Nach dem Waschen %
Asche	3,1	2,8
Flüchtige Bestandteile	6,6	5,5
Schwefel	1,4	1,3
Chlor	2,4	0,5

[1] Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie. 2. Aufl. Bd. 4 S. 549. Mantell: Industrial Carbon, S. 273.

[2] Stahl u. Eisen 1912 Heft 45.

In den Proben von Petrolkoks, die ich selbst vor etwa 10 Jahren untersucht habe, fand ich nicht soviel Salz. Zahlentafel 8 gibt meine Analysenergebnisse.

Zahlentafel 8. Petrolkoks.

	Fl. B.	Asche %	SiO_2	Fe_2O_3 %	Al_2O_3	CaO	MgO %	NaCl %
Amerikan. Petrolkoks	6,5	0,27	0,10	0,06	0,03	0,04	0,003	0,024
Galizischer Petrolkoks	5,9	0,66	0,03	0,04	0,04	0,09	0,016	0,42

Abb. 18 zeigt ein 33 × 21 cm großes Stück amerikanischen Petrolkoks, und zwar schönen Blasenkoks; seine Poren sind durchschnittlich etwa 3 mm weit und nehmen $^2/_3$ seines Raumes ein. Abb. 19 läßt auf der Seite eines aus aussortiertem Petrolkoks geschnittenen Würfels die großen, gleichmäßig verteilten Poren gut sehen. Abb. 20 zeigt im Gegensatz hierzu die Fläche eines aus aschereichem Rindenkoks geschnittenen Würfels mit verhältnismäßig wenigen ungleich verteilten winzigen Poren. Dieser schwere Würfel wog doppelt soviel wie der gleich große Würfel aus Blasenkoks (bei 10 cm Kantenlänge 1066 g gegen 538 g).

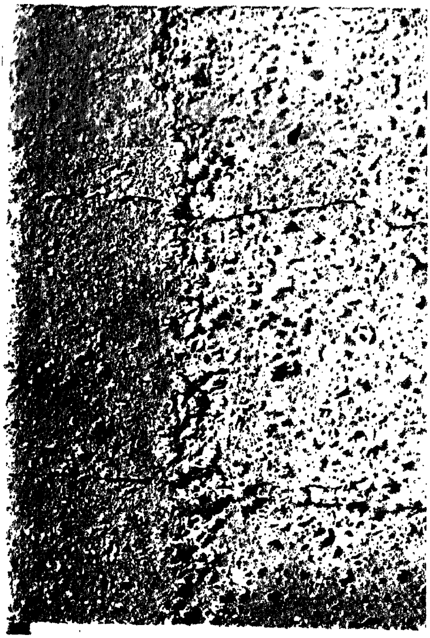


Abb. 20. Petrolkoks (Rindenkoks, aschenreich) $^4/_5$ nat. Gr.

Der elektrische Widerstand von Blasenkoks ist außerordentlich hoch, er sinkt beim Erhitzen auf etwa denselben Wert wie bei Anthrazit. Bei noch höherem Erhitzen im elektrischen Widerstandsofen wandelt sich der Petrolkoks viel rascher und vollständiger in Graphit um als der Anthrazit.

Verbrauch. Eine der größten amerikansichen Elektrodenfabriken verbraucht gegen 50000 t Petrolkoks im Jahre, zu dessen Gewinnung 5 Millionen Tonnen Rohöl destilliert wurden.

Lagerung. In dem neuen Werk Arvida der Aluminum Co of Canada, das seine Elektroden selber herstellt, wird der angefahrene Petrolkoks zunächst gebrochen und dann auf das Kokslager gehoben, welches in einem 136 m langen, 45 m weiten Gebäude untergebracht ist. Am einen

Ende dieses Speichers wird der Koks bis unter den Dachfirst hinaufbefördert und dann waagerecht so geführt, daß er an jeder beliebigen Stelle ausgeschüttet werden kann. Die Schräge des Daches ist gleich dem Böschungswinkel des eingelagerten Koks, damit der ganze Raum genutzt werden kann. Von diesem Lager wird der Koks mit einem Becherwerk nach Bedarf entnommen, um ihn vor der Verwendung auszuglühen.

Pechkoks. Dem Petrolkoks ähnlich ist der Pechkoks, welcher als



Abb. 21. Pechkoks, V = 10.



Abb. 22. Pechkoks, V = 150.

Rückstand bei der Teerdestillation erhalten wird. Ein von mir untersuchter Pechkoks enthielt 0,82% Asche, welche sich folgendermaßen zusammensetzte:

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	NaCl
0,24	0,12	0,26	0,05	0,002	0,11%

Abb. 21 zeigt die Mikroaufnahme einer angeschliffenen Stelle von Pechkoks bei zehnfacher Vergrößerung und Abb. 22 bei 150facher Vergrößerung. Im Weltkriege waren wir in Ermangelung von genügend Petrolkoks veranlaßt, möglichst auch Pechkoks für Aluminiumanoden zu verwenden. Die im Handel zu erfassenden Mengen von Pechkoks sind verhältnismäßig gering.

D. Steinkohlenkoks.

Gewinnung. Aus der Steinkohle entweichen beim Erhitzen unter Luftabschluß die flüchtigen Bestandteile und Gase; es bleibt der Koks zurück, welcher je nach der Eigenart der Steinkohle, der Art des Beschickens und der Schnelligkeit des Erhitzens in chemischer und physikalischer Hinsicht verschieden ist. Man unterscheidet Gaskoks aus der Leuchtgasgewinnung von dem in den Koksöfen erzeugten Kokereikoks, der als Gießereikoks, Schmelzkoks, Zechenkoks oder Schmiedekoks in den Handel kommt.



Abb. 23. Gaskoks. $^2/_5$ nat. Gr.

In den Retorten der deutschen Gasanstalten herrscht durchschnittlich eine Hitze von 1100—1300°, in den Koksöfen der Kokereien dagegen meist nur 900—1100°. Die das Leuchtgas liefernde langflammige Backkohle ist verhältnismäßig aschenarm und enthält mehr flüchtige Bestandteile (32—40%) als die gewöhnlich zur Verkokung verwendete kurzflammige Backkohle (18—26%). Der Gaskoks ist im allgemeinen poröser und weniger fest als der Kokereikoks. Außer vom Gasreichtum der Kohle hängt die Porosität des Kokses von der Körnung der Kohle und wesentlich von der Schnelligkeit ab, mit der verkokt wird. Wenn der Koksofen mit gestampfter Kohle beschickt ist, so wird dank dieser mechanischen Verdichtung auch der Koks dicht, und seine sehr vielen kleinen Poren nehmen nur etwa einen Raum von 25% ein, während der Gaskoks unter Umständen über 60% Porenraum hat.

Bei genügend schnellem Erhitzen schwillt zunächst die Kohle; bei 600° „schmilzt" sie und gibt ihre flüchtigen Bestandteile ab; durch weitere Steigerung der Hitze wird die Kohle entgast, und ihr Volumen nimmt wieder ab. Je leichtflüssiger und gasreicher die Kohle ist, um so stärker schwindet sie. Wenn zu langsam erhitzt wird, so schwelt die Kohle nur langsam ab, und der Koks wird pulverig.

Garer Koks bildet Säulen oder Stengel, die auf der Heizfläche des Ofens senkrecht stehen. Die der Ofenwand anliegende Fläche ist mattgrau und wird wegen ihres eigenartigen Gefüges als Blumenkohl be-

zeichnet. Je gasreicher die Kohle war, um so mehr Risse hat der Koks; gestampfte Kohle gibt einen besonders rissigen Koks. Die Farbe ist silbergrau bis schwarz; je reiner der Koks ist, um so heller. Garer Koks soll beim Anschlagen mit dem Hammer einen hellen Klang geben, ungarer klingt dumpf. Der dichteste Koks ist zumeist am festesten; für westfälischen Koks finde ich eine Festigkeit von 90—160 kg/cm^2 angegeben. Abb. 23 gibt ein großes Stück Gaskoks aus meiner Sammlung, Abb. 24 ein ebenso großes Stück Gießereikoks. Abb. 25 ist ein Schliffbild von Gießereikoks bei 5facher Vergrößerung, Abb. 26 dasselbe bei 100facher Vergrößerung. Die schönen Mikrobilder Abb. 27 (Gaskohlenkoks, Abb. 28 (Fettkohlenkoks), beide bei 200facher Vergrößerung,



Abb. 24. Gießereikoks. 1/3 nat. Gr.

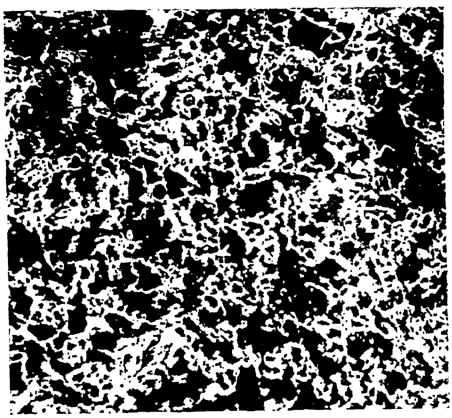


Abb. 25. Gießereikoks, V = 5.

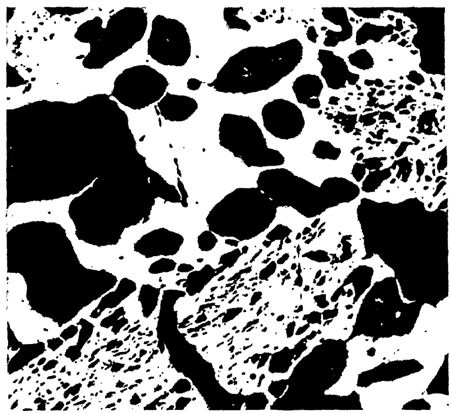


Abb. 26. Gießereikoks, V = 100.

und Abb. 29 (Elektrodenkoks[1], Vergr. 70) verdanke ich der Freundlich-

[1] Elektrodenkoks, d. h. Petrolkoks oder Pechkoks für Elektroden; ich bringe hier auch dies Gefügebild zum Vergleich mit den anderen Koksbildern.

keit von Herrn Dr. A. Jenkner in Essen bei Koppers AG.; die Aufnahmen sind im polarisierten Lichte bei gekreuzten Nikols gemacht.

Für die chemische Zusammensetzung von Gießereikoks aus Ruhrkohle gibt Ullmann an[1]:

C	H	O	N	S
96—97%	0,3—0,6%	0,9%	1,4%	0,9—1,5%

Aus meinem eigenen Vorrat seien die Zahlen der Zahlentafel 8 mitgeteilt; zum Vergleich füge ich die Werte für den Petrolkoks und für Retortenkohle an.

Zahlentafel 8. Koks.

	Asche %	Scheinbare Dichte	Wahre Dichte	Porenraum %
Gaskoks	8,0	0,80	1,67	52
Gießereikoks	7,5	0,87	1,90	54
Petrolkoks	0,1	0,46	1,39	67
Retortenkohle	1,3	1,55	2,06	25

In der Kriegszeit mußten wir manchmal schlechten und sehr aschenreichen Koks für die Elektroden verwenden. Während der Gaskoks früher 7—10% Asche hatte, stand einmal nur ein Gaskoks mit über 20% Asche zur Verfügung. Er gab beim Brennen der Elektroden eine glasartige Schlacke und beim Einsetzen in den Karbidofen brachen die Elektroden. Auch ein an Asche ärmerer, aber sehr harter Gießereikoks lieferte für sich oder mit dem Gaskoks gemischt keine guten Elektroden; denn sie waren zu spröde. Besser bewährte sich ein weicherer Zechenkoks.



Abb. 27. Gaskohlenkoks, V = 200.

Heute wird Steinkohlenkoks nicht soviel für Elektroden gebraucht[2],

[1] Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie. 2. Aufl. Bd. 6 S. 692.

[2] Bester Gießereikoks wird in den amerikanischen Aluminiumfabriken zum Kohlefutter der Bäder verwendet; er muß aber aschenarm sein, und seine Asche darf nur so wenig von hier schädlichen Bestandteilen (Fe und Si) enthalten.

sondern nach Möglichkeit der nur sehr wenig Asche enthaltende Petrolkoks und da, wo erforderlich, das edelste, aber auch das teuerste Kohlenerzeugnis der Gasanstalten, die Retortenkohle, verwendet.

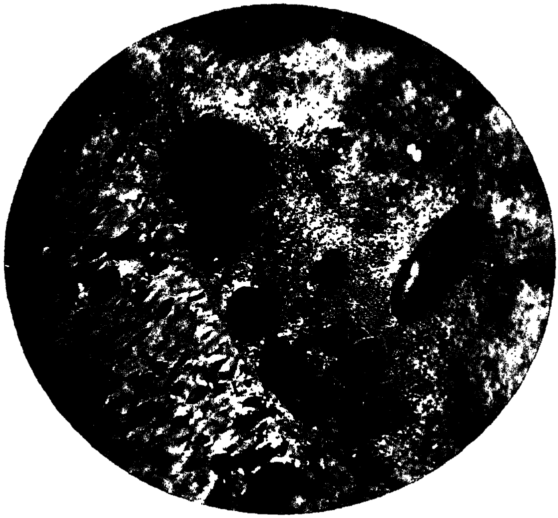


Abb. 28. Fettkohlenkoks. V = 200.

E. Retortenkohle.

Die Retortenkohle, auch Glanzkohle genannt, meist zu Unrecht als Retortengraphit bezeichnet, scheidet sich im oberen Teil der Retorten bei der Leuchtgasgewinnung ab, indem sich kohlenstoffreiche Gase an der glühenden Wandung zersetzen. Sie ist besonders dicht und klingend hart; den elektrischen Strom leitet sie gut. Man unterscheidet nach dem Aussehen grauen Schalen-, dunklen Muschel- und Silbergraphit. Abb. 30 zeigt ein großes gebogenes Stück von der Schale, Abb. 31 das strähnige Gefüge eines herausgeschnittenen Würfels. Die Schliffbilder 32 und 33 zeigen bei fünffacher Vergrößerung das eigenartige streifige Gefüge des Muschelgraphits in Richtung der schwarzen Bänder und senkrecht dazu. Die graue Retortenkohle gibt, weil sie sehr fest und hart ist, gute Schliffe (Abb. 34, V = 5), welche starke Vergrößerung vertragen; Abb. 35—38 geben bei 500facher Vergrößerung ihr eigenartiges knospiges Gefüge. Ich nehme an, daß diese merkwürdige knollenähnliche Anordnung

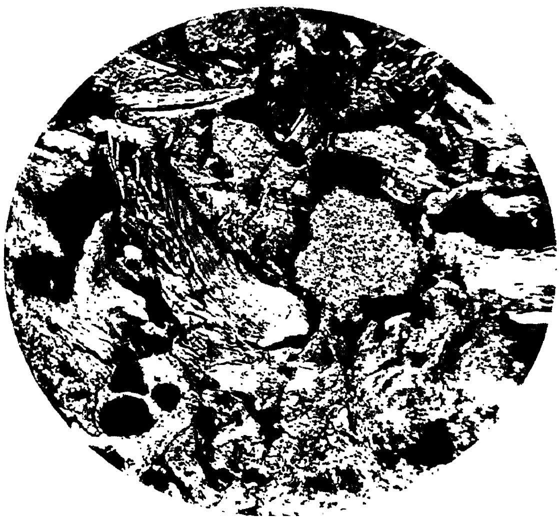


Abb. 29. „Elektrodenkoks", V = 40.

dadurch entstanden ist, daß sich um feste Teilchen als Kerne der Kohlenstoff aus der Gasphase schalenartig ablagerte.

Zellner[1] unterscheidet eine blättrige, schülferige, graphitähnliche, weiche, stark glänzende Modifikation, welche bald in Platten, bald auch in geschlossen erscheinenden traubigen und stengligen Formen auftritt und oft nur einen geringen Prozentsatz der Retortenkohle bildet, als weißen Karbon, zweitens eine graue, dichte, oft etwas gebänderte, sehr harte und schwer zu vermahlende Art, welche häufig die Hauptmenge der Retortenkohle ausmacht, als grauen Karbon und drittens eine braune bis schwarze samtige, meist nur Anflüge bildende Modifikation, welche häufig zwischen die Schichten der vorigen eingelagert erscheint, als schwarzen Karbon.



Abb. 30. Retortenkohle. $^1/_5$ nat. Gr.

Die der weißglühenden Retortenwand angelagerte äußere Schicht, die Schale, ist am härtesten und dichtesten. Der Wasserstoffgehalt der Schale ist verschwindend klein, nach innen steigt er bis 0,5%; auch die Porosität nimmt nach innen zu. Zahlentafel 9 gibt nach Zellner einige Zahlen für Retortenkohle aus Oberschlesien[2].

Zahlentafel 9. Retortenkohle.

	Dichte	Feuchtigkeit	Asche
Grauer Schalengraphit . .	1,94	0,6	1,4
Schwarzer Retortengraphit	1,81	5,4	0,2
Weißer Retortengraphit . .	1,89	0,6	0,2

Der harte Schalengraphit wird von den Elektrodenerzeugern zumeist besonders geschätzt. Der Schale anhaftende Schamotteteilchen (von der Auskleidung der Retorten) entfernt man durch Kratzen mit Drahtbürsten nach Möglichkeit. Außerdem ist die Retortenkohle durch Flugasche verunreinigt. Die Schamotteteilchen machen den Glührückstand der Retortenkohle reich an Kieselsäure.

Die den Elektrodenfabriken zur Verfügung stehende Menge von

[1] Zellner: Die künstlichen Kohlen, S. 46.

[2] Redlich (Stahl u. Eisen 1912 Heft 45) gibt für eine französische Retortenkohle an, daß sie 1,77% Asche, 0,46% flüchtige Bestandteile und 0,73% Schwefel enthielt.

Retortenkohle ist niemals sehr groß gewesen. Mantell führt an, daß eine Umfrage bei mehreren hundert Gaswerken des amerikanischen Ostens Angebote von 1—25 t im Jahre ergab zu einem Preise von 20—30 $ je Tonne, also zu einem wesentlich höheren Preise als für den bedeutend reineren Petrolkoks gezahlt wird. Aber auch dieser Preis erschien den meisten Gaswerken nicht hoch genug, um sich der Mühe zu unterziehen, die jeweils anfallenden Mengen Retortenkohle zu sammeln.



Abb. 31. Retortenkohle. 3/5 nat. Gr.

In Deutschland ist mit Einführung der modernen Kammeröfen der Anfall an Retortenkohle besonders stark gesunken. Immerhin wird die Retortenkohle für Elektroden, welche besonders fest und gegen schroffe Temperaturwechsel widerstandsfähig sein sollen, z. B. Stahlelektroden, nach Möglichkeit verwendet. Auch bei anderen Ofenelektroden verbessert schon ein bescheidener Zusatz von Retortenkohle die Mischung[1].

F. Teer[2].

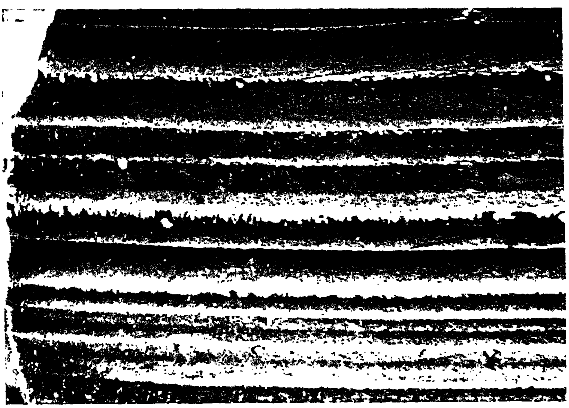


Abb. 32. Muschelgraphit. V = 5.

Gewinnung. Der Steinkohlenteer sammelt sich bei der Destillation der Steinkohle in den gekühlten Vorlagen. Die Kokereien liefern in Deutschland etwa viermal soviel Teer wie die Gasanstalten; die bei der Erzeugung von Wassergas und von Ölgas (Fett-

[1] Bei der British Aluminium Co wurde nach W. Clacher (Electr. Rev., Lond., vom 20. Januar 1911) gemahlene Retortenkohle mit Teer zum Auskleiden der Bäder verwendet.

[2] Spilker, A.: Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle. 4. Aufl. Halle 1923. — Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie. Bd. 10. — Mantell: Industrial Carbon. New York 1928.

gas oder Pintschgas für Zugbeleuchtung) gewonnenen Teermengen sind verhältnismäßig gering. In Deutschland wurden 1912 rund 900000 t Kokereiteer und 250000 t Gasteer gewonnen, Wassergasteer und Ölteer zusammen 1914 etwa 14000 t.

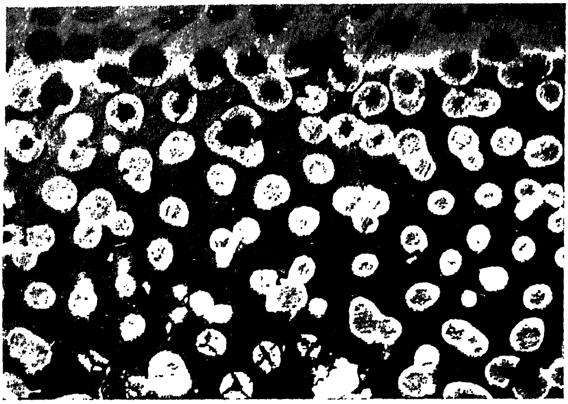


Abb. 33. Muschelgraphit, V = 5.

Zunächst erscheint bei der Destillation der **Tieftemperaturteer**. Er ist hauptsächlich ein Gemenge von Kohlenwasserstoffen und Phenolen, und zwar sind die Kohlenwasserstoffe Paraffinkohlenwasserstoffe, Olefine, Naphthene, teilweise hydrierte und im Kern substituierte aromatische Kohlenwasserstoffe. Die den Hoch-

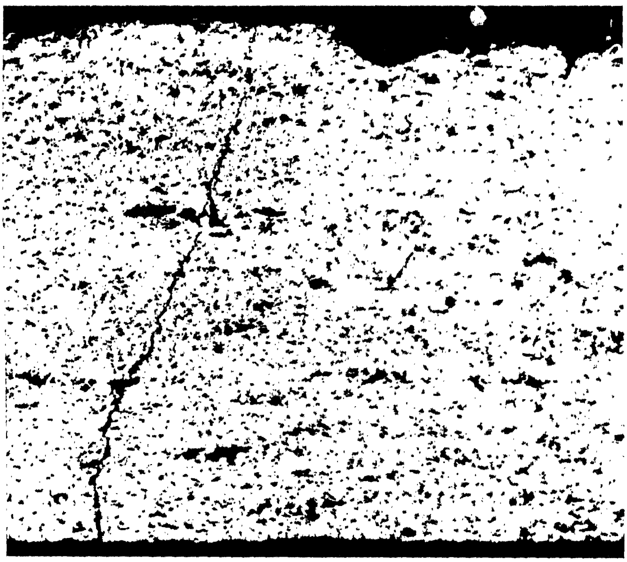


Abb. 34. Grauer Schalengraphit, V = 5.

temperaturteer kennzeichnenden einfachen aromatischen Kohlenwasserstoffe, wie Benzol, Naphthalin, Anthrazen, fehlen gänzlich. Das Naphthalin entsteht aus dem Tieftemperaturteer erst bei 750°.



Abb. 35. Retortenkohle, V = 500.



Abb. 36. Retortenkohle, V = 500.

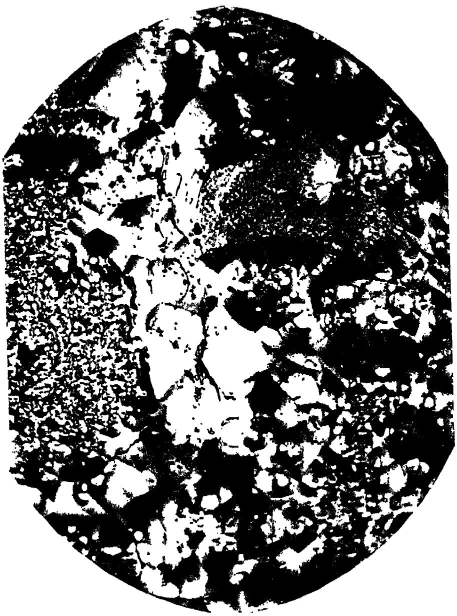


Abb. 37. Retortenkohle, V = 500.



Abb. 38. Retortenkohle, V = 500.

Der Tieftemperaturteer, kurz T-Teer oder Urteer genannt, wird für sich nur in verhältnismäßig geringen Mengen hergestellt. In den auf hohe Temperatur erhitzten Koksöfen und Gasretorten zersetzt er sich weiter und „aromatisiert“ sich, wobei die Menge des Teers abnimmt, die der Gase entsprechend zunimmt. Dieser durch Zersetzung des T-Teers entstandene Hochtemperaturteer, der gewöhnliche Teer, fällt sehr verschieden aus je nach der durchschnittlichen Temperatur, Größe, Bauart und Lagerung der Retorten und der Öfen, Größe der Kohlenbeschickung, Wassergehalt der Kohle, Schütthöhe und Breite des Kohlenstapels, Stärke des Absaugens, Führung der Gase usw.

In den Retorten der Leuchtgasfabriken herrscht eine durchschnittliche Temperatur von 1100—1300°, während die Koksöfen meist nur auf 900—1100° gehalten werden. Trotzdem liefern stehende Gasretorten einen Teer, welcher dem Urteer ähnlicher ist als die Kokereiteere. In den stehenden Retorten ziehen nämlich die Dämpfe unmittelbar nach oben ab und gelangen zum Teil durch die kühleren Innenschichten der Kohlensäule schnell in die Vorlage. In den waagerechten Retorten müssen dagegen die Dämpfe sich an der glühenden Retortenwand langsam hinziehen, ehe sie in die Vorlage gelangen. Eine Mittelstellung nehmen die Öfen mit schräg (unter einem Winkel von 30°) gelagerten Retorten ein.

Die Koksöfen liefern auch deshalb einen anderen Teer als die Retorten der Gasanstalten, weil sie nicht wie jene mit trockener Kohle, sondern mit feuchter Kohle beschickt werden. In die waagerechten Koksöfen wird grubenfeuchte backende Feinkohle eingebracht, die oft naß aufbereitet und beim Einstampfen stark angefeuchtet ist; sie hat deshalb 10—14% Wasser[1]. Die große Menge feuchter Kohle kühlt anfangs die glühende Schamottewandung stark ab; entsprechend dem Eindringen der Hitze schreitet die Entgasung der Kohle von den Wänden nach der Mitte langsam fort. Die an der Wand entwickelten Teerdämpfe verdichten sich zum Teil an der noch kalten Kohle in der Mitte. Diese sich immer wiederholende Verdichtung und Verdampfung von Wasser und Teer kühlt die entweichenden Teerdämpfe, so daß sie viel gelinder überhitzt werden als in den waagerechten Retorten der Leuchtgasfabriken. Außerdem haben die Teerdämpfe in den Koksöfen einen verhältnismäßig kurzen Weg. Das Verhältnis von Kohlenstapel zur glühenden Wandung ist günstiger, so daß die zunächst entstehenden Urteerdämpfe genügend aromatisiert werden.

[1] Die Kohle wird in den Ofen durch Öffnungen in der Decke eingeschüttet oder als Stampfkuchen von der Stirnseite her durch die Beschickungsmaschine eingeschoben.

Zusammensetzung. Alle Rohteere enthalten Gaswasser und freien Kohlenstoff. Das Wasser, gewöhnlich 2—10%, stammt teils aus der Feuchtigkeit der Kohle, teils ist es chemisch beim Verkoken durch die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff gebildet. Guter Teer soll nicht mehr als 4—5% Wasser enthalten. Normale Teere zeigen, weil das Wasser Ammoniak enthält, alkalische Reaktion. Nur ausnahmsweise finden sich im Handel saure Teere, nämlich solche, welche bei einem der „direkten" Ammoniakverfahren mit Säure oder sauren Laugen in Berührung waren. Das spezifische Gewicht der Steinkohlenteere schwankt bei Kokereiteeren etwa zwischen 1,12 und 1,18, bei Gasteeren etwa zwischen 1,18 und 1,25.

Der „freie" Kohlenstoff ist so zu verstehen: Wenn man den Teer mit Lösungsmitteln, wie Benzol, Schwefelkohlenstoff, Chloroform, Eisessig, Pyridin usw. behandelt, so bleiben schwarze Massen zurück, welche keineswegs aus reinem Kohlenstoff bestehen, sondern ihrer Art und Menge nach völlig von der Natur des angewandten Lösungsmittels abhängen. Man hat sich daher in der Teerindustrie dahin geeinigt, als Lösungsmittel Anilin und Pyridin zu wählen, welche weitaus die meisten Bestandteile des Teeres leicht lösen, und verfährt wie folgt.

Man wägt in einem kleinen Porzellanschälchen etwa 1 g des Teeres ab, fügt 5 cm^2 Anilin hinzu und erwärmt das Ganze $^1/_2$ Stunde auf siedendem Wasserbade. Die Mischung gießt man sofort auf einen Teller aus porösem Porzellan von 65 mm Durchmesser.

Nachdem das Anilin vollkommen eingezogen ist, wäscht man das im Schälchen Verbliebene mit 2 cm^2 Pyridin (Denaturierungsbasen alter Test) sorgfältig nach und trocknet den Porzellanteller nach dem Einziehen des Pyridins im Trockenschrank bei 120—150°. Der trockene Rückstand, sogenannter freier Kohlenstoff, wird mit einem Holzspatel vom Teller abgenommen und gewogen.

Etwa 80% des so gefundenen „Kohlenstoffes" scheinen, wie Glühversuche im geschlossenen Röhrchen zeigen, aus reinem, amorphen Kohlenstoff zu bestehen. Der Rest dürfte als hochmolekulare Kohlenwasserstoffe anzusprechen sein.

Teer aus undichten Retorten enthält viel Ruß („verbrannter" Teer); dieser flockige Kohlenstoff[1] ist sehr fein verteilt und im Teer besonders gefürchtet, da er das Wasser sehr festhält und das sehr unangenehme Schäumen des Teers beim Erhitzen verschuldet.

Prüfung. Zur Prüfung des Teers destilliert man 1 kg in einer gußeisernen, 2 Liter fassenden Blase mit gläsernem T-Stück und eingesetztem Thermometer unter gewöhnlichem Druck und fängt die einzelnen Destillate in gewogenen Glasflaschen auf. Man nimmt ab:

[1] Er ist entstanden, indem der Teer in der undichten Retorte teilweise verbrannte.

Wasser und Leichtöl . . .	bis 170°,	Schweröl	bis 270°,
Mittelöl	„ 230°,	Anthrazenöl	„ 340°.

Der verbleibende Rückstand, dessen Menge sich am einfachsten aus der Differenz der Gewichte der Destillate und der Füllung ergibt, ist in den meisten Fällen ein mittelweiches Pech von einem zwischen 60—75° liegenden Erweichungspunkt. Man ermittelt seinen Erweichungspunkt und ist, falls dieser über 75° oder unter 60° liegt, gezwungen, die Destillation zu wiederholen, indem man im ersten Fall die Endtemperatur entsprechend unter 340°, im zweiten Fall über 340° wählt. Auf keinen Fall dürfen bei Beendigung der Destillation schon Zersetzungsdämpfe, die immer ein Zeichen für eintretende Verkokung sein würden, auftreten.

Ullmann gibt für verschiedene Teersorten die in Zahlentafel 10 zusammengestellten Daten.

Zahlentafel 10. Teer.

Teerart	Dichte	Wasser %	Leichtöl %	Mittelöl %	Schweröl %	Anthr.-Öl %	Pech %
Gasteer:							
Horizontalofenteer	1,24	2,8	6,1	5,3	9,4	8,9	68
Vertikalofenteer .	1,16	3,0	7,7	9,8	16,6	17,4	46
Schrägofenteer . .	1,25	3,8	5,3	4,4	10,6	10,3	66
Kokereiteer:							
aus westfäl. Kohle	—	3,9	1,3	12,0	8,5	18,7	55

Vom Standpunkt der Elektrodenerzeugung ist der Teer am besten, welcher den höchsten Kokungswert hat, d. h. welcher beim Glühen am wenigsten an Gewicht verliert. Die Zähigkeit des Teers ist mehr oder weniger ein Maß für seine Bindekraft. Gewöhnlich verwendet man ein Gemisch von Gasteer und Kokereiteer in verschiedenen Verhältnissen. Zuvor muß man den Teer durch Erhitzen auf 170° sehr sorgfältig von Wasser befreien; er darf höchstens 0,5% Feuchtigkeit zurückhalten. Für die Strangpresse muß man dem Teer Pech zumischen, weil mit Teer allein hergestellte Mischungen sich praktisch nicht ausstoßen lassen. Wenn sehr dichte Elektroden gewünscht werden, so ist eine niedrige Verkokungszahl des Teeres besonders ungünstig, weil sie eine sehr poröse Kohle ergibt; denn eine große Menge vom Teer verflüchtigt sich beim Brennen.

Mantell gibt für vier verschiedene Teerarten die in Zahlentafel 11 wiedergegebenen Zahlen.

Zahlentafel 11. Teer.

	freier Kohlenstoff %	Pech %	Koks %
Gasteer	20—40	50—75	45—65
Koksofenteer . . .	12—20	—	—
Wassergasteer . . .	2—5	35—60	20—40
Ölteer	oft 25—30 und mehr	—	—

G. Pech[1].

Gewinnung. Das Pech verbleibt als Rückstand bei der Teerdestillation, nachdem alle leichten Öle, Zwischenfraktionen und schweren Öle (Kreosot, Anthrazen usw.) abgetrieben sind. Die Teerblasen sind stehende zylindrische Gefäße aus Schmiedeeisen mit stark nach innen gewölbtem Boden, welche etwa 15—45 t Teer fassen. Am tiefsten Punkte befindet sich ein weiter Stutzen zum Ablassen des Pechs. Der Helm besteht gewöhnlich aus Gußeisen. Einige Stunden nach beendeter Destillation wird das etwa 350° heiße Pech in freistehende Gefäße abgelassen. Hier läßt man es auf 130—120° abkühlen und führt es dann in flache ausgemauerte Gruben oder in die Gießform über.

Einteilung der Peche. Die Peche lassen sich nach ihren „Schmelzpunkten"[2] unterscheiden in solche, welche bei gewöhnlicher Temperatur weich sind und leicht schmelzen, zweitens, welche in der Mitte zwischen weich und hart sind und drittens, welche hart sind und zum Verflüssigen eine viel höhere Temperatur erfordern. Nach dieser durchaus willkürlichen Einteilung gehören zu den weichen Pechen diejenigen Peche, die sich zwischen 50 und 70° verflüssigen, zu den mittelharten die Peche mit dem Verflüssigungsbereich 70—90°, während die harten Peche erst bei 90—140° oder noch höher flüssig werden. Mit dem Schmelzpunkt des Peches steigt im allgemeinen sein Kohlenstoffgehalt und Verkokungswert.

Destillation auf Pech. Man kann die Destillation auf Pech nach dreierlei Weisen führen. 1. Man arbeitet auf ein hartes Kernpech mit hohem Kohlenstoffgehalt und hohem Schmelzpunkt (150° oder höher) und verschneidet nachher mit Teerdestillaten, um das Pech auf den verlangten Schmelzpunkt einzustellen. 2. Man destilliert den Teer im Vakuum mit Hilfe von Dampf bis zum verlangten Schmelzpunkt des Peches ab. Der Dampf hilft die hochsiedenden Öle beseitigen und verhütet die Abscheidung von Koks an den Kesselwänden. 3. Der Teer wird in unmittelbar gefeuerten waagerechten Kesseln destilliert ohne Dampf und Vakuum, so daß die Destillationsprodukte unter ihrem eigenen Druck entweichen.

Versuche in großem Maßstabe haben gezeigt, daß für gespritzte Elektroden das nach der ersten Art verschnittene Pech sich weniger gut eignet. Überhaupt ist die Wahl der Teerdestillate, welche man zum Verschneiden des Peches nimmt, besonders wichtig. Kreosot und Naphthalin nehmen dem Pech die Bindekraft. Man muß schwerere Destillate nehmen, z. B. die zähflüssigen „grünen" Öle. Die physika-

[1] Mantell und Ullmann: a. a. O.

[2] Von einem eigentlichen Schmelzpunkt darf man genau genommen nicht sprechen, weil das Pech allmählich erweicht.

lische Beschaffenheit des Peches ist hauptsächlich bedingt durch die Destillationstemperatur, die chemische Zusammensetzung hingegen von der Eigenart der Kohle, aus welcher der Teer stammt.

Wertung des Pechs. Ähnlich äußert sich Spilker: „Die Beschaffenheit des Pechs ist abhängig von der Menge des bei der ersten Destillation gewonnenen Destillates, wobei man es in der Hand hat, durch dessen Vermehrung oder Verringerung den Schmelzpunkt des Peches zu erhöhen oder zu erniedrigen, mit anderen Worten, das Pech härter oder weicher zu machen. Hierbei kann man auch so verfahren, daß man zunächst unter Verlängerung der Anthrazenölfraktion auf Hartpech arbeitet und nachträglich dieses durch Zusatz minderwertiger Abfallöle wieder in Weichpech verwandelt. Neben dem hierbei in Betracht kommenden Schmelzpunkt (oder richtiger Erweichungspunkt) spielt bei der Beurteilung des Peches sein Kohlenstoffgehalt eine wichtige Rolle; er ergibt sich bei gut geleiteter Destillation annähernd aus dem Kohlenstoffgehalt des verwendeten Rohteers. Endlich ist es für viele Zwecke auch noch wichtig, das Verhalten des Pechs bei der Tiegelverkokung sowie seinen Aschengehalt zu kennen.

Eigenschaften von Pech. Nach H. Mallison[1] unterscheidet sich Pech aus Horizontalretortenteer von dem aus Vertikalretortenteer oder Kokereiteer durch seinen hohen Gehalt an freiem Kohlenstoff; es zeigt matten Bruch und besitzt geringe Bindekraft, während das Kokereiteerpech spiegelblank und geschmeidiger ist. Das spezifische Gewicht von Wassergasteerpech übersteigt nicht 1,20; Vertikalretortenteerpech und Kokereiteerpech besitzen die Dichte 1,25—1,275, Gasteerpech in der Regel sogar über 1,30—1,33. Was die verschiedenen Pechsorten anlangt, die man je nach dem Grade, bis zu dem der Teer abgetrieben wurde, erhält, so ist das Weichpech bei gewöhnlicher Temperatur zähe und läßt sich nur in der Kälte in Stücke zerschlagen, die sich bei längerem Zusammenliegen wieder vereinigen. Es zeigt hohen Glanz auf der Bruchfläche und fließt im Sonnenschein bald zu einer träge laufenden Masse von spiegelartigem Glanz zusammen. Sein spezifisches Gewicht ist etwa 1,250—1,265, sein Erweichungspunkt (nach Kraemer und Sarnow) liegt zwischen 40 und 60°. Mittelhartes Pech (Brikettpech) ist bei gewöhnlicher Temperatur fest und läßt sich leicht in Stücke schlagen, die aber nur wenig scharfe Kanten zeigen. In der Sonne sinkt es bald zu einer formlosen Masse zusammen. Sein spezifisches Gewicht ist 1,265—1,285, sein Erweichungspunkt 60—75°. Hartpech schließlich ist spröde und läßt sich leicht pulvern. Beim Zerschlagen zerfällt es in scharfkantige, klingende Schollen von mattem Glanz.

[1] Mallison, H.: Teer, Pech, Bitumen und Asphalt (Definition, Herkunft und Merkmale der wichtigsten Teere und Bitumina). Halle 1926.

Sein spezifisches Gewicht ist 1,285—1,330, sein Erweichungspunkt liegt über 75°.

Steinkohlenteerpech löst sich in Äthyl- oder Methylalkohol, Äther und Benzin schwer, leichter in Chloroform, Schwefelkohlenstoff und Benzol, am leichtesten und vollkommensten in einem Gemisch von Anilin und Pyridin. Diese braun bis schwarz gefärbten Lösungen fluoreszieren im auffallenden Lichte blaugrün. Stets bleibt beim Lösen von Pech ein kohliger Rückstand, ähnlich wie beim Teer.

Der Steinkohlenteerpech entwickelt beim Erhitzen Dämpfe, die nach rohem Anthrazenöl riechen. Durch seinen hohen Gehalt an freiem Kohlenstoff unterscheidet es sich von allen übrigen nicht bis zur Verkokung destillierten Pechen, die sich in Benzol vollständig oder bis auf geringe Mengen lösen.

Untersuchung von Pech. Zur Untersuchung des Peches werden folgende Verfahren angewendet:

1. Erweichungspunkt nach Kraemer-Sarnow.

In einem kleinen Blechgefäß mit ebenem Boden, das in einem Ölbade von ähnlicher Form hängt, schmilzt man bei ungefähr 150° so viel von dem zu untersuchenden Pech, daß die Höhe der geschmolzenen Menge im Blechgefäß 7 mm beträgt. In diese taucht man das eine Ende eines etwa 10 cm langen, an beiden Enden eben geschliffenen, offenen Glasröhrchen von 6 mm lichter Weite bis zum Boden ein, läßt es darin so lange stehen, bis das an dem kalten Röhrchen anfangs erstarrte Pech wieder geschmolzen ist, schließt beim Herausnehmen die obere Öffnung mit dem Finger und setzt das mit Pech gefüllte Ende des Röhrchens auf eine kalte Glasplatte. Nach dem Erkalten entfernt man das an der äußeren Wand des Röhrchens haftende Pech und hat jetzt im Innern eine Pechschicht, deren Höhe 5 mm betragen muß. Auf diese gibt man 5 g Quecksilber aus einem dafür bestimmten Meßgefäß und hängt das so beschickte Proberohr in ein mit Wasser von 40° gefülltes Becherglas, das sich in einem zweiten, weiteren, mit Wasser der gleichen Temperatur gefüllten Becherglas befindet. In das innere Becherglas taucht man das Thermometer so ein, daß sein Quecksilbergefäß in gleicher Höhe mit der Pechschicht im Röhrchen liegt, und erhitzt mit mäßiger Flamme derart, daß die Temperatur in der Minute um 1° steigt. Die Temperatur, bei der das Quecksilber die Pechschicht durchbricht, gilt als Erweichungspunkt des Peches.

2. Kohlenstoffgehalt wie beim Rohteer.

3. Verkokungsrückstand nach Brookmann-Muck: Man erhitzt 1 g des fein gepulverten Pechs in einem Platintiegel von guter Oberflächenbeschaffenheit, 22 mm Bodendurchmesser und 35 mm Höhe mit übergreifendem, gut passendem, in der Mitte mit einem 2 mm weiten Loch versehenen Deckel in der 8 cm hohen Flamme eines einfachen

Bunsenbrenners, wobei der Boden des Tiegels sich 6 cm über der Brennerhöhe befindet. Man hört mit dem Erhitzen auf, wenn sich über der Öffnung des Tiegeldeckels beim Annähern einer zweiten Flamme kein Flämmchen mehr zeigt, was schon nach wenigen Minuten der Fall sein wird. Der Verkokungsrückstand wird nach dem Abkühlen im Exsikkator gewogen.

4. Aschegehalt.

Man verascht 1 g der Durchschnittsprobe im gewogenen Platintiegel, zuletzt unter Zuhilfenahme eines Gebläses, läßt im Exsikkator abkühlen und wägt.

H. Ruß[1].

Der Ruß, welcher sich aus den Zimmeröfen in den Abzügen und Essen niederschlägt, der sogenannte Glanzruß, enthält Teer, Brandharze, Öle, Flugasche und auch Ammonsulfat. Er wurde früher als braune Farbe von den Malern verwendet. Wegen seiner vielen Verunreinigungen ist er für die Industrie der künstlichen Kohlen nicht zu gebrauchen. Der heute verwendete Ruß wird sachgemäß durch Verbrennen von Kohlenwasserstoffen gewonnen, und zwar indem man sie entweder aus Schalen in offener Flamme verbrennt, Flammruß, oder Lampendochte damit speist, Lampenruß, oder gasförmige Kohlenwasserstoffe bei ungenügendem Luftzutritt verbrennt, Gasruß, oder den an Kohlenstoff reichsten Kohlenwasserstoff, das Azetylen, explosiv zerlegt, Azetylenruß.

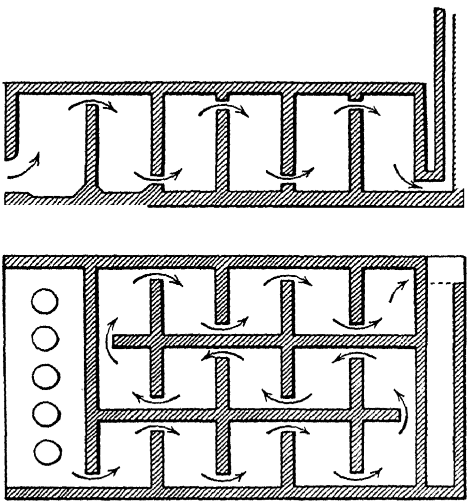


Abb. 39. Flammrußbrennerei.

Die Flammrußbrennerei benutzt als Rohstoff Steinkohlenteer und billige Abfälle seiner Verarbeitung, nämlich Teeröl, Rohnaphthalin, Rohanthrazen, von Rückständen im besonderen Schweröle von der Dichte 1,04—1,08, die oberhalb 200° sieden; meist verbrennt man Gemische. Im allgemeinen erhält man kaum die Hälfte des in ihnen enthaltenen Kohlenstoffes als Ruß, auch wenn man den Zutritt der Verbrennungsluft möglichst genau regelt.

[1] Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie. 2. Aufl. Bd. 6 S. 632. — Mantell: Industrial Carbon. Kapitel 10 u. 11.

Eine Flammrußbrennerei besteht zumeist aus zwei aneinanderliegenden Räumen (Abb. 39). Im Verbrennungsraum hängt eine Reihe kegelförmiger Öfen aus Gußeisen mit ihrem Oberteil an zwei Schienen, welche durch die ganze Breite des Raumes laufen. Den Unterteil des Ofens bildet eine auf Rädern laufende Schale, in welche die mit dem Teergemisch beschickte Schale gesetzt wird. Die Flamme erhitzt den Ofen auf Rotglut, so daß unzersetzte Harze usw., die vom Ruß mitgeführt werden, an der Ofenwand verbrennen. Aus dem Verbrennungsraum wird der Ruß mit den Verbrennungsgasen in einen aus rohen Ziegeln gemauerten Raum getragen, wo er an Zwischenwänden vorbei im Zickzack geführt wird und sich ablagert.

Eisen wird nach Möglichkeit in den Kammern vermieden, damit der Ruß nicht mit Rost verunreinigt wird. Wenn man mit Wasser kühlt, so kann der Raum zum Auffangen des Rußes klein gehalten werden. Auch die elektrostatische Niederschlagung läßt sich beim Ruß mit Vorteil anwenden.

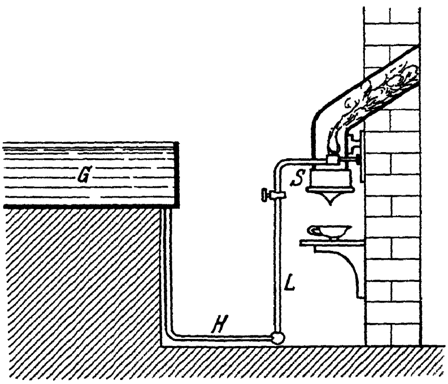


Abb. 40. Gewinnung von Lampenruß.

Der Flammruß ist dunkelbraunschwarz bis grauschwarz, sehr locker und flockig. Sein Schüttgewicht liegt zwischen 70 und 200 g je Liter; seine wahre Dichte zwischen 1,70 und 1,76. Durch Walzen in Kollergängen und Kalandern verdichtet man den lockeren Ruß.

Je heißer der Ruß gebrannt wurde, um so weniger enthält er an brenzlichen Stoffen (Empyreuma) und Feuchtigkeit. Falls er durch ein Übermaß an Frischluft zu kalt gebrannt wurde, so enthält er auch silberglänzende Naphthalinteilchen. In zu kalten Kammern findet man einen durch Öl beschwerten feuchten Ruß, der sich wie Schnee zusammenballen läßt, in den heißeren Kammern dagegen einen feinen trockenen Ruß, der durch die Finger läuft. Bei guter Betriebsführung muß in der ganzen Anlage eine genügend hohe Hitze herrschen, damit das bei der Verbrennung gebildete Wasser sich nirgends mit dem Ruß niederschlägt. Zu fetten und feuchten Ruß kann man nachträglich durch Erhitzen unter Luftabschluß (Kalzinieren) verbessern.

Guter Flammruß hat selten mehr als 0,1% Asche. Er schwimmt auf Wasser, sinkt aber in Alkohol oder Benzol unter.

L a m p e n r u ß. Zur Gewinnung von Lampenruß wird zumeist Paraffinöl aus einem Vorratsbehälter einer großen Zahl von Lampen zugeführt; Schwimmer regeln selbsttätig den Zufluß, so daß die Dochte

stets richtig getränkt bleiben. Die Lampen sind Flachbrenner und in Blechhülsen eingebaut; die Luft tritt durch einen genau einstellbaren Schieber ein. Nach oben biegt die Hülse in ein weites Blechrohr um, welches die Mauer der Sammelhalle durchsetzt (Abb. 40). Aus dem Sammelraum treten die Verbrennungsgase in eine Reihe von Sackfiltern, wo sie möglichst von Ruß befreit werden. Über den Lampen kann man auch eine Trommel sich drehen lassen, welche von Kühlwasser durchflossen wird, und den auf ihr niedergeschlagenen Ruß durch Schaber abnehmen.

Guter Lampenruß ist tiefschwarz und sammetartig. Der in China durch Verbrennen von Kampferöl gewonnene sehr zarte Ruß dient zur Bereitung der echten chinesischen Tusche.

Gasruß. Der Gasruß (in Amerika Carbon Black genannt) wird hauptsächlich aus Naturgas, seltener aus vergasten schweren Mineralölen und Petroleumrückständen gewonnen. Erdgas findet sich in allen Erdöl führenden Gebieten; die gashaltigen Schichten liegen über den ölhaltigen Schichten und werden oft unmittelbar zur Gasgewinnung angebohrt. Auch weit entfernt von Öl findet sich Erdgas in der Tiefe unter sehr hohem Druck. Dieses durch Tiefbohrung erschlossene Gas wird als trockenes oder armes von jenem nassen oder reichen Erdgas aus den Petroleumgebieten unterschieden. Das trockene Gas besteht hauptsächlich aus Methan, das nasse Erdgas ist reich an Äthan, Propan und anderen höheren Homologen des Methans. Zahlentafel 12 gibt zwei kennzeichnende Analysen.

Zahlentafel 12. Erdgas.

	Trockenes Erdgas %	Nasses Erdgas %
Methan	85	37
Äthan	9	33
Propan	3	21
Butan, Pentan und Heptan	1	9
Stickstoff	2	—

Das nasse Gas führt oft so viel Benzin (Gasolin) mit sich, daß sich dessen Abscheidung durch Kompression lohnt. Dem an Gasolin armen trockenen Erdgas entzieht man es durch Absorption in Schwerbenzin oder Öl oder durch Adsorption auf aktiver Kohle oder Silikagel.

Bei der Herstellung von Gasruß brennen die Gasflammen unter geringem Überdruck mit weniger Luft als zur richtigen Verbrennung ausreicht gegen feste Flächen, und zwar entweder Rinnen oder kleine sich drehende Scheiben oder große Platten oder sich drehende Walzen. Kühlen ist nicht notwendig, es vermindert im Gegenteil die Güte des Rußes. Das Niederschlagen auf Walzen liefert den besten Ruß; aber die Ausbeute ist noch niedriger als die an sich schon sehr geringe Rußaus-

beute bei der sonstigen Verbrennung von Erdgas. Im allgemeinen beträgt sie nämlich nur etwa 5%, bedeutet also eine große Verschwendung, zumal auch die Verbrennungswärme der gewaltigen Gasmengen vollkommen verlorengeht.

Bei dem von L. J. McNutt 1892 erfundenen Rinnenverfahren (Channelsystem) werden aus der Gasleitung *1* (Abb. 41) eine Reihe von Steatitbrennern *4* gespeist, deren rußende Flammen gegen eiserne etwa 20 cm breite Rinnen *6* aus U-Eisen schlagen; die Rinnen werden auf Rollen *3* in einem Gestell hin und her bewegt. Von der Rinnenwandung

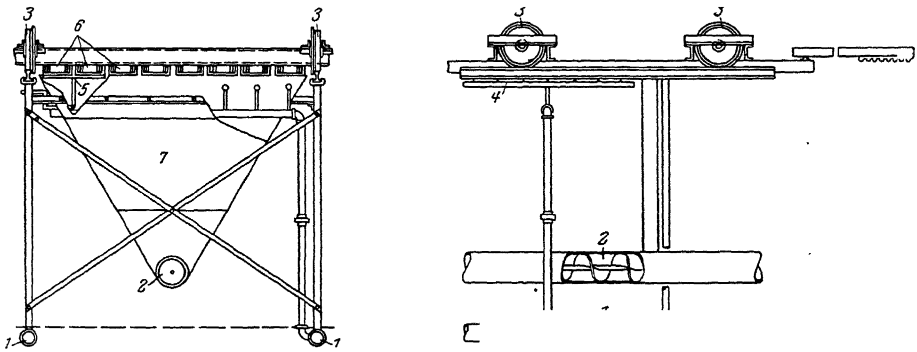


Abb. 41. Gewinnung von Gasruß nach dem Rinnenverfahren.

wird der Ruß durch Kratzer *5* dauernd abgestreift und in einen Trichter *7* geworfen, von wo ihn eine Förderschnecke *2* zu Röhren weiterführt, die alle in einem Sammelpunkt endigen. Die üblichsten Schlitzbrenner mit 8—10 Mundstücken von etwa 1 mm Schlitzbreite verbrauchen 0,1 bis 0,4 m³ Erdgas in der Stunde. In einigen Anlagen ringeln sich die Ecken der Gasflammen senkrecht über die Rinnen. In anderen Anlagen lassen sich die Brenner heben oder senken. Je nach der Größe der Brenneröffnung, dem Druck des Gases, der Höhe der Flamme, der Fläche der Rinnen und der Schnelligkeit ihrer Bewegung erhält man verschiedene Sorten Ruß. Die Rinnen bewegen sich sehr langsam ununterbrochen unter Kreischen Tag und Nacht rückwärts und vorwärts; wegen ihrer hohen Temperatur (etwa 500°) verzichtet man nämlich auf das Schmieren. Schon aus der Ferne erkennt man eine solche Rußgewinnungsanlage an den großen dunklen Wolken, welche über den langen niedrigen Wellblechhallen schweben, die etwa 30 m lang und für jedes Rillensystem etwa 3 m breit sind. Um den Luftzug zu regeln, befinden sich im Dach Klappen, unten am Boden Schieber oder Schiebetüren. Je nach der Witterung muß man den Luftzug verschieden einstellen. Die rotbraunen Wolken, welche langsam entweichen, bestehen hauptsächlich aus Wasserdampf und Kohlensäure; sie enthalten zu wenig Ruß, um sein Abfangen zu lohnen.

Bei dem Scheibenverfahren drehen sich gußeiserne Scheiben von etwa 1 m Durchmesser sehr langsam über den Brennern. Beim Plattenverfahren schlagen die Flammen gegen große Platten von etwa 7 m Durchmesser; Brenner und Kratzer befinden sich unter den Platten; die Abgase entweichen durch Löcher in den Platten. Entweder dreht sich die Platte, oder es drehen sich die Brenner mitsamt den Kratzern. Bei dem Walzenverfahren drehen sich Walzen von 20 cm Durchmesser und über 2 m Länge in der Minute etwa zweimal. Nach dem Rinnenverfahren arbeiten große Anlagen, die über 1 Million m^3 Erdgas täglich verbrennen.

Der Hauptbestandteil des trockenen Erdgases, Methan, liefert bei seiner Zersetzung eine harte sandige Kohle, während die Zersetzung von Äthan, Äthylen und ähnlichen Gasen eine weiche Kohle liefert. Die Gegenwart von Salzwasser und beträchtlichen Schwefelmengen im Gase ist oft sehr unangenehm; die Salzkristalle und die Schwefelverbindungen verstopfen allmählich die Brennerschlitze, so daß die Flammen verlöschen. Der Gasdruck beeinflußt nicht nur die Beschaffenheit, sondern auch die Menge des erzeugten Gasruß. Im allgemeinen liegt der Druck in den Verteilungsrohren zu den Brennern zwischen 5 und 40 mm Wassersäule. Bei übermäßigem Druck ist die Ausbeute an Ruß niedrig. Gewöhnlich wird das Erdgas vor der Verbrennung durch Absorptionsvorrichtungen geleitet, welche das in ihm enthaltene Gasolin zurückhalten. Die Gasolingewinnung aus Erdgas spielt oft eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Rußanlage. Menge und Güte des Rußes werden durch die Fortnahme des Gasolins nicht beeinträchtigt.

Mantell gibt für zahlreiche Gasruß-Sorten die Zusammensetzung an. Ich entnehme daraus die Zahlen von den Zahlentafeln 13 und 14.

Zahlentafel 13. Gasruß.

	Feuchtigkeit %	flüchtige Stoffe	Asche %
Monarch carbon black (Rinnenverfahren)	2,34	6,16	0,00
Kalista carbon black (Walzenverfahren)	5,30	10,40	0,14

Zahlentafel 14. Gasruß.

	H_2	C %	N_2	O_2 %	S %	Dichte
Monarch carbon black	0,8	92,9	0,08	6,2	0,02	1,78
Kalista carbon black	1,1	88,0	0,08	10,7	0,01	1,86

Unter Dichte ist hier natürlich die wahre Dichte zu verstehen.

Die Teilchen von Gasruß sind außerordentlich klein, schätzungsweise kleiner als 0,2 μ. Wegen seiner außerordentlich feinen Verteilung enthält

der Gasruß bis zu 85% Luft eingeschlossen. Er läßt sich mit Öl mischen. Einer der größten Abnehmer ist die Kautschukindustrie. 1926 bestanden in den Vereinigten Staaten über 60 Gasrußanlagen; rund 80% des Gasruß werden heute nach dem Kanalverfahren gewonnen. Die meisten und größten Anlagen liegen in Texas und Louisiana. 1928 wurden in den Vereinigten Staaten etwa 120000 t Gasruß im Werte von 14 Millionen Dollar hergestellt. Hierfür wurden 6 Milliarden m³ Erdgas verbrannt. Die amerikanischen Hersteller von Ruß aus Erdgas (Carbon

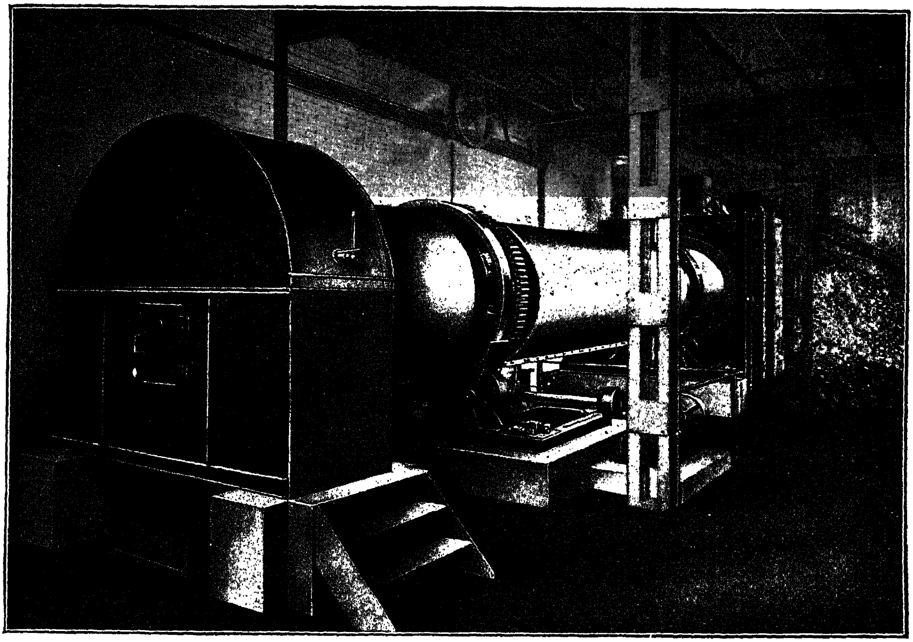


Abb. 42. Große Trockentrommel.

black), welche 92% der Welterzeugung liefern, haben sich 1929 zur Carbon Black Association zusammengeschlossen.

Man prüft den Gasruß einmal, indem man ihn verascht, und ein anderes Mal auf brenzliche Bestandteile, indem man ein Häufchen Ruß auf weißes Fließpapier bringt und es mit Alkohol, Benzin oder Benzol reichlich anfeuchtet. Ein brauner Fleck auf dem Papier beweist Empyreuma.

Drittes Kapitel.

Trocknen und Vorglühen.

Trocknen. Der angelieferte Koks enthält vom Ablöschen her oft noch sehr bedeutende Mengen Feuchtigkeit und wird deshalb zunächst ge-

trocknet[1]. Für ein wirtschaftliches Trocknen muß das Gut den heißen Gasen eine große sich stetig erneuernde Oberfläche bieten; die Temperatur des Heizgases soll tunlichst hoch, die der austretenden Gase möglichst niedrig sein, damit die Hitze möglichst gut ausgenutzt wird. Sehr vorteilhaft ist es, wenn man die Abwärme von Kesselfeuerungen, von Glühöfen und dergleichen zum Trocknen ausnutzen kann.

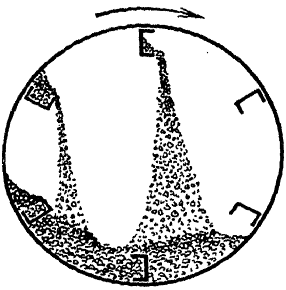


Abb. 43. Alte Form der Hubschaufeln.

Zum Trocknen großer Mengen schaufelbarer Stoffe eignen sich besonders die **Trommeltrockner**. Abb. 42 zeigt eine große Trockentrommel, welche auf Rollenlagern durch ein in den Zahnkranz greifendes Getriebe langsam umgewälzt wird. Die Feuergase durchstreichen der Länge nach die Trommel und das im Gleichstrom zugeführte Trockengut rutscht, weil die Trommel ein wenig geneigt ist, langsam hindurch. An die innere Trommelwand genietete Hubschaufeln heben das Gut; nachdem es den Böschungswinkel erreicht hat, gleitet es über die geneigte Fläche ab und wird in der Trommel ausgestreut, wobei es mit den Feuergasen in innige Berührung kommen soll. Bei der alten Form der Hubschaufeln (Abb. 43) wird der größte Teil des Trommelquerschnittes nicht berieselt, und die Heizgase durchziehen ihn wenig ausgenutzt. Weit besser wirkt z. B. der **Rieseleinbau** „Simplex" (Abb. 44) der Schilde-Haas-Union, Hersfeld (Hessen-Nassau) und Lennep (Rheinland), der für dickstückiges oder scharfkantiges Trockengut besonders geeignet ist. Die Zellen sind so weit, daß sie sich kaum verstopfen können. Bei jeder Drehung der Trommel rieselt das Gut in jeder Zelle dreimal parallel von den Hubleisten zur Trommelachse ab. Weil die einzelnen Zellen-

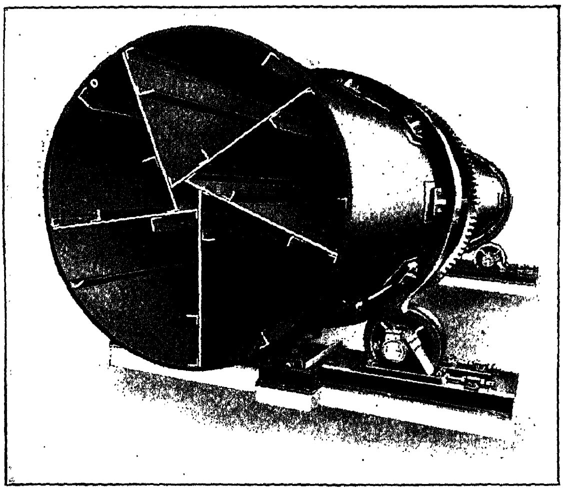


Abb. 44. Rieseleinbau „Simplex".

[1] Wenn man den Koks ungetrocknet in den Vorglühofen brächte, so würden sich auf Kosten des Kokses erhebliche Mengen von Wassergas bilden.

schüsse je nach Trommelgröße nur 0,5—1 m lang und fortlaufend gegeneinander etwas versetzt sind, rieselt beim Übergang zum nächsten Zellenschuß das Gut quer ab. Weil ferner sich das Gut in der umgewälzten Trommel auf den heißen Blechwänden der Zellen in dünner Schicht ausbreitet, so verdampft das Wasser sehr rasch. Die Wände werden aus 4—6 mm starken Flußstahlblechen, die Hubleisten aus dicken Winkeleisen hergestellt. Durch eine Stauvorrichtung am Ende der Trommel kann der Durchgang des Trockengutes geregelt werden.

Allgemeines über Vorglühen. Petrolkoks und Anthrazit müssen vor der Verwendung zu Elektroden von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bis auf höchstens 0,5% durch Glühen unter Luftabschluß befreit werden. Dieses Vorglühen wird in Erinnerung an das Brennen des Kalkes als Kalzinieren bezeichnet; die noch nicht so vorbehandelten Kohlen nennt man „grün“. Grüne Rohstoffe würden, weil sie erst beim Brennen der Elektrode ihre flüchtigen Bestandteile abgeben, nicht genügend dichte, allzu poröse Elektroden liefern. Außerdem läßt sich eine mit grünem Koks hergestellte Mischung schlecht pressen und schwer ausstoßen. Beim Vorglühen sintert der Koks und seine wahre Dichte nimmt zu. Sorgfältiges Vorglühen ist unbedingt nötig für die Fabrikation guter Elektroden.

In der Frühzeit der Elektrodenfabrikation hat man den zum Brennen der Elektroden dienenden Ofen oft zum Entgasen der Rohstoffe mitbenutzt. Man packte sie in Tiegel oder brachte sie in eingebaute Behälter oder verwendete sie manchmal einfach zum Hinterfüllen der grünen Elektroden, was aber nur bei Ruß angeht, sonst jedoch sehr gefährlich ist, weil die ungeglühte Masse anbackt. Bei den heutigen hohen Temperaturen des Brennofens wäre es höchst unwirtschaftlich, in ihm auch vorzuglühen. Die Baukosten eines Vorglühofens sind viel geringer, z. B. für eine Leistung von 4 t in 24 Stunden nur etwa ein Viertel von denen eines Brennofens; der Verbrauch an Brennstoff ist viel kleiner; durch den ununterbrochenen Betrieb des vervollkommneten Vorglühofens wird gegen früher an Zeit und Arbeitslöhnen sehr gespart[1].

Gasabgabe von Anthrazit. Als Beispiel dafür, wieviel Gas beim Glühen von Anthrazit abgegeben wird und wie dies Gas zusammengesetzt ist, führe ich in Zahlentafel 15 und 16 Zahlen für englischen Anthrazit aus Wales, in Zahlentafel 17 und 18 Zahlen für deutschen Anthrazit aus Langenbrahm an[2].

---

[1] Ich verdanke diese Angaben der Kommanditgesellschaft Franz Meiser in Nürnberg, welche auch Öfen zum Mischen der Masse bei verschiedenen Temperaturen baut, überhaupt auf dem Gebiet der künstlichen Kohlen ganze Fabrikanlagen einschließlich der Maschinen entwirft und ausführt.

[2] Arndt, K., u. A. Pollack: Z. anorg. allg. Chem. Bd. 201 (1931) S. 90.

Zahlentafel 15. Anthrazit aus Wales.

Temperatur	675°	740°	780°	840°	900°	950°
Stunden	2	$3^1/_4$	$2^1/_4$	$3^1/_2$	$4^1/_2$	$2^1/_2$
Liter je kg	3	5	6	45	51	20

Zahlentafel 16. Anthrazit aus Wales.

Temperatur °	Kohlendioxyd %	Kohlenoxyd %	Wasserstoff %	Methan %
675	32	12	4	46
780	12	35	18	30
840	3	28	63	Spur
900	2	23	64	Spur
950	—	10	81	—

Zahlentafel 17. Anthrazit aus Langenbrahm.

Temperatur	620°	675°	740°	780°	840°	900°	960°
Stunden	1	$1^1/_2$	$2^1/_2$	2	2	2	2
Liter je kg	25	55	115	81	75	24	20

Zahlentafel 18. Anthrazit aus Langenbrahm.

Temperatur °	Kohlendioxyd %	Kohlenoxyd %	Wasserstoff %	Methan %
620	6	9	37	44
675	2	6	51	39
740	3	7	82	8
780	10	18	66	5
840	2	23	70	4
900	0,3	25	69	Spur
960	0,3	16	77	Spur

Beide Male wurde vor Beginn der Messungen der Anthrazit auf 600° 3 Stunden lang erhitzt. Bei dem englischen Anthrazit begann die Gasentwicklung schon um 550°, beim deutschen Anthrazit dagegen schon um 450°. Der geologisch jüngere deutsche Anthrazit gab über dreimal so viel Gas ab (395 gegenüber 120 Liter je kg) und die Temperatur der höchsten Gasentwicklung lag um mehr als 100° niedriger.

Zahlentafeln 19 und 20 geben die entsprechenden Werte, die wir mit amerikanischem Petrolkoks erhielten:

Zahlentafel 19. Amerikanischer Petrolkoks.

Temperatur	600°	705°	780°	880°	970°
Stunden	1	$2^1/_2$	$2^1/_4$	$1^1/_4$	1
Liter je kg	13	85	121	44	32

Zahlentafel 20. Amerikanischer Petrolkoks.

Temperatur °	Kohlendioxyd %	Kohlenoxyd %	Wasserstoff %	Methan %
600	3	10	10	1
705	1	15	67	10
780	0,7	8	88	2
880	0,2	4	95	0
970	0,1	3	97	0

Vorglühöfen. Die Vorglühöfen der Elektrodenfabriken werden mit Gas, manchmal auch elektrisch geheizt. Die mit Gas geheizten Retortenöfen sind aus der Gasindustrie, im besonderen der Kokerei, übernommen worden. Abb. 45 zeigt einen älteren Ofen mit waagerechten Retorten, in denen der Petrolkoks ungefähr 6 Stunden lang auf etwa 1000° erhitzt wird. Dagegen stehen in dem Woodall-Duckam-Ofen die Retorten senkrecht, ebenso in dem Glover-West-Ofen. Jener wurde zuerst in England 1903 eingeführt und bald von den Amerikanern übernommen; dieser wurde umgekehrt 1903 in den Vereinigten Staaten erfunden und gelangte 1909 nach England. Bei dem Woodall-Duckam-



Abb. 45. Vorglühofen mit waagerechten Retorten.

Ofen (Abb. 46) hat die Retorte rechteckigen Querschnitt und erweitert sich nach oben. Ihre Wandung ist aus feuerfesten Ziegeln mit Feder und Nut gasdicht zusammengefügt; nach außen sind die Ziegel hohl, so daß die seitlich herantretenden Feuergase ihre Hitze geschwind an die Beschickung abgeben. Die Heizkanäle laufen senkrecht; ihre Scheidewände sind einerseits mit den Retortenwänden, andererseits mit den Rückwänden der Züge verbunden. Die Beschickung (gewöhnlich Petrolkoks) wird der Retorte oben durch einen Trichter zugeführt[1]. Der Koks sinkt langsam mit geregelter Geschwindigkeit abwärts, wird dabei zunächst bis zum Glühen erhitzt, dann weiter unten entgast und schließlich nach vollendeter Kalzinierung am Boden herausgeholt. Die ausgetrie-

[1] Wenn der Petrolkoks viel Staub enthält, was besonders bei weichem Koks der Fall ist, so darf man mit jeder Beschickung nur einen gewissen Teil des Staubes mitgeben; sonst können Störungen auftreten.

benen Gase steigen aufwärts und werden am oberen Ende der Retorte abgeführt. Der Ofen arbeitet stetig: indem unten der entgaste Koks austritt, sinkt die Beschickung entsprechend nach und tritt oben grüner Koks ein.

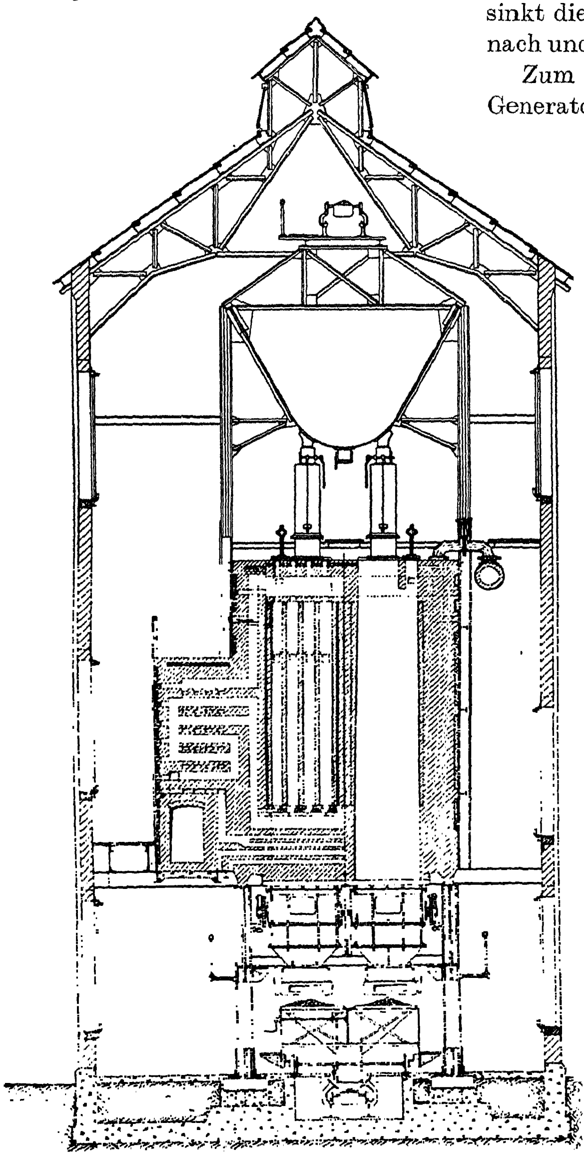


Abb. 46. Woodall-Duckam-Ofen.

Zum Heizen der Retorten dient Generatorgas oder auch das beim Kalzinieren gewonnene Gas[1]. Die zum Verbrennen notwendige Luft streicht zuvor um den Unterteil der Retorte und wird hier in einem Abhitzekanal durch die Abgase vorgewärmt; alsdann tritt sie mit dem Heizgas oben in die Züge ein, und die Flamme brennt nach unten. Schieber am Boden regeln den Zug zu beiden Seiten der Retorten; ferner sind Hauptschieber am Ende des Abhitzekanals und Regulierventile für Gas und Verbrennungsluft bei jedem Retortenpaar vorhanden, um die Geschwindigkeit der Gase und damit die Glühtemperatur genau zu regeln. Zum Vorglühen von Petrolkoks werden 1050—1250° innegehalten; die Abgase treten mit 650—850° in den Wärmespeicher. Die das Ausziehen des Kokses besorgende Vorrichtung kühlt den noch glühenden Koks durch einen Wassermantel vor seinem Austritt. Die Abb. 46

[1] Bei älteren Öfen hat man, statt mit Generatorgas zu heizen, einfach durch Verbrennen von einem Teil des Koks die Glühhitze in der Entgasungskammer

zeigt eine Anlage zum Entgasen von Petrolkoks, wie sie von der Isbel-Porter Co. in Newark, N. J., gebaut wird. Weil der Petrolkoks sein Gas viel leichter abgibt als Kohle, so ist der Wassermantel des Verkokungsofens entbehrlich.

Auch der Glover-West-Ofen (Abb. 47) arbeitet ununterbrochen. Bei ihm haben die Retorten ovalen Querschnitt und sind aus konzentrischen Schamotteringen aufgebaut; sie werden von unten geheizt. Der Boden jeder Retorte ist 1 m hoch aus Gußeisen oder aus Silika-Formsteinen zusammengesetzt und bildet die Heizkammer für die in den angebauten Generator eintretende Verbrennungsluft. Man erreicht hierdurch gleichzeitig den Vorteil, daß die Frischluft den Boden der Retorte kühlt und der Koks unten so kalt abgezogen werden kann, daß man kein Wasser zum Ablöschen nötig hat. Die Beschickung tritt oben durch Fülltrichter ein und sinkt im Maße, wie der entgaste Koks unten durch eine Förderschnecke abgezogen wird, langsam nach. Die ausgetriebenen Gase werden oben durch eine 18 cm weite Leitung abgeführt[1]. Die Schnecke steht senkrecht und

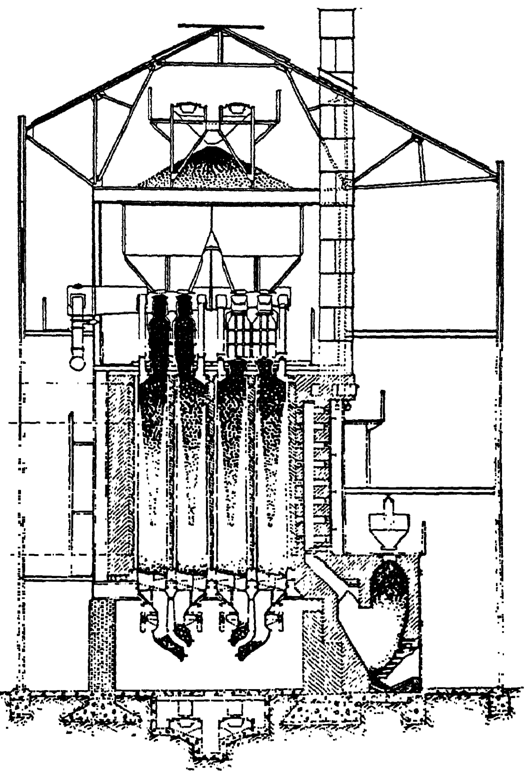


Abb. 47. Glover-West-Ofen.

selbst erzeugt. Aber im Werke Greenock der British Aluminium Co stellte man fest, daß hierbei 22% des Petrolkoks verbraucht wurden, und daß es bedeutend wirtschaftlicher war, außerhalb der Kammer einen billigeren Brennstoff in Heizgas umzuwandeln. Dann betrug die Gewichtsabnahme nur 15%, wovon 8% auf die flüchtigen Bestandteile entfielen. Außerdem konnte man nun die Temperatur der Entgasung gut regeln. Ein Versuch, im Tunnelofen, der bisher zum Brennen der Anodenkohlen verwendet war, den Koks zu entgasen, mißglückte völlig, weil sich der Koks aufblähte und unbrauchbar wurde. (Clacher, W.: Electr. Rev., Lond., vom 20. Januar 1911.)

[1] Mantell: Industrial Carbon, S. 291—296.

macht in 40—45 Minuten eine Umdrehung; sie ist aus zwei Hälften zusammengesetzt, so daß nach Entfernung der einen Hälfte die Retorte bequem zugänglich ist. Aus der Schnecke fällt der Koks in eine Kammer mit

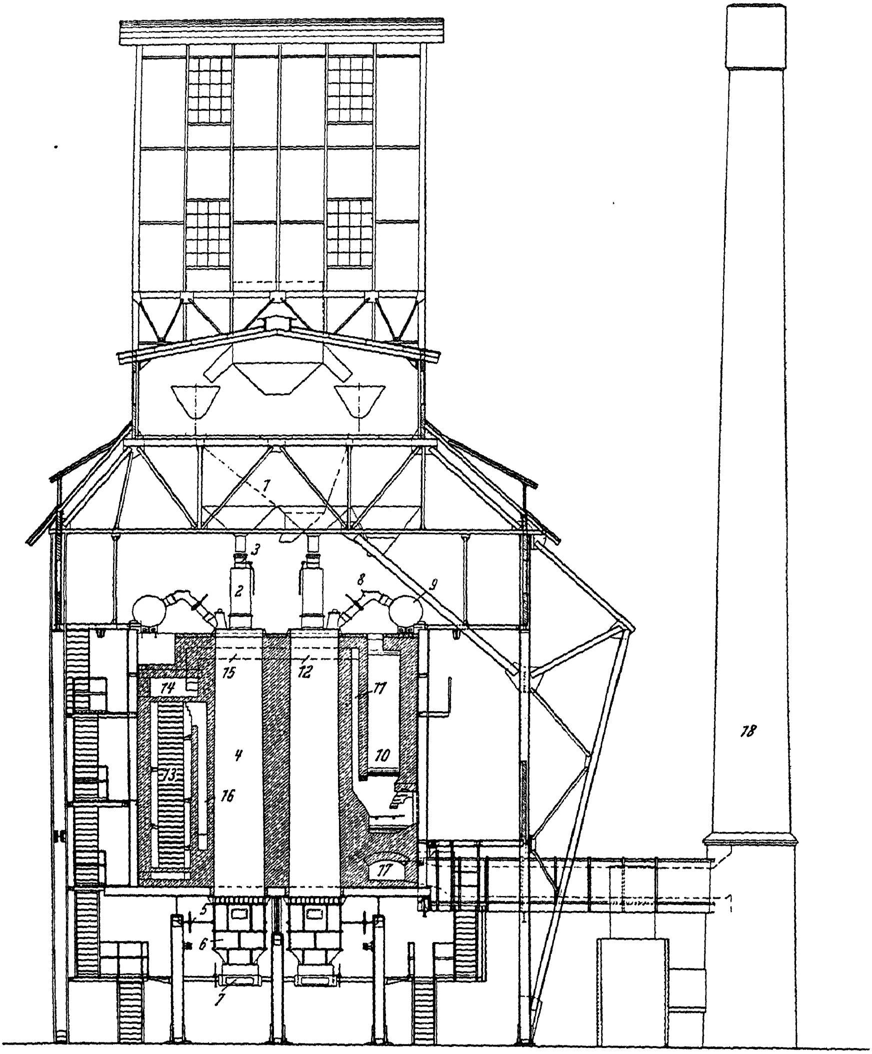


Abb. 48. Doppelreihiger Glühofen von Didier.

einem selbstschließenden Deckel; aus ihr wird er etwa alle 2 Stunden entfernt. Die eigentliche Kalzinierung vollzieht sich im mittleren Teil der Retorten. Der von den Abgasen umkreiste Oberteil wärmt die Beschickung vor, und der Unterteil wird, wie beschrieben, durch Luft gekühlt.

Der Woodall-Duckam-Ofen ist in zweckmäßiger Weise von der Stettiner Chamotte-Fabrik AG. vormals Didier durchgebildet worden. Abb. 48 stellt einen doppelreihigen Ofen mit hochliegendem Einzel-Generator und Rekuperator von Didier dar; das Ofenhaus ist in

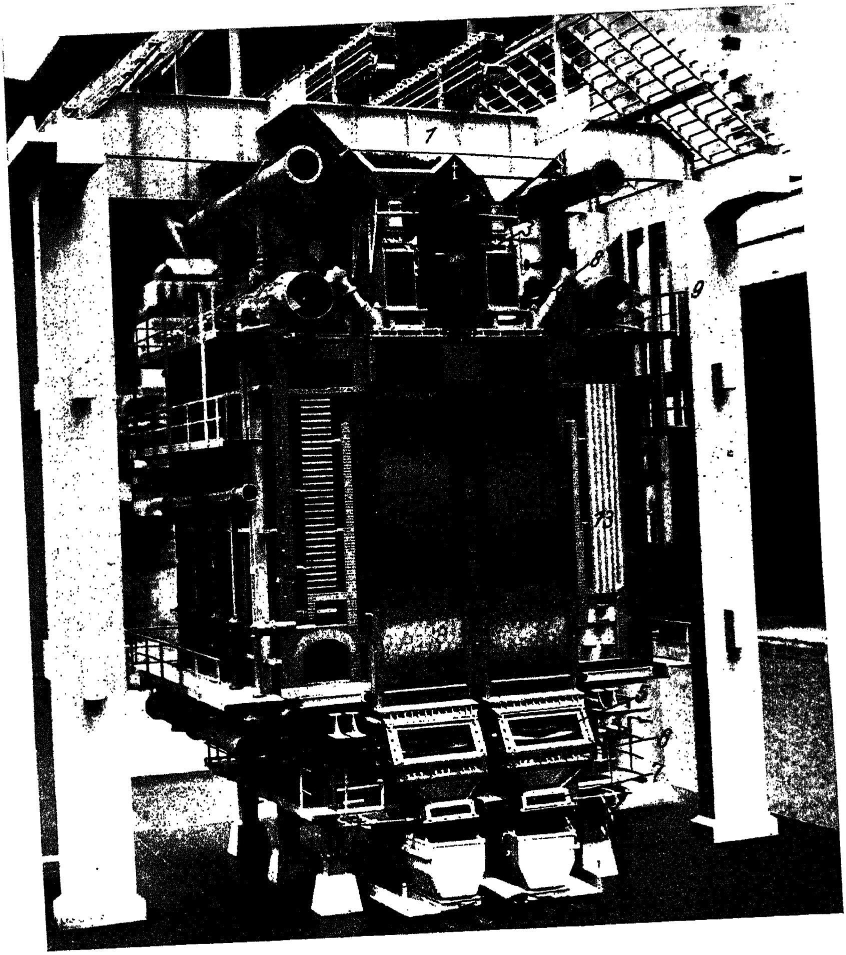


Abb. 49. Modell eines doppelreihigen Didier-Ofens.

Eisen errichtet. Der zu entgasende Petrolkoks wird durch senkrecht oder waagerecht arbeitende Fördervorrichtungen in die Bunker *1* oberhalb der Kammern gefördert; der Bunkerinhalt genügt einem Bedarf von 24 oder 36 Stunden. Vom Vorratsbunker *1* gelangt der Koks in den Zwischenbunker *2*, der unmittelbar auf die Kammer *4* gesetzt und nach

oben durch einen gasdichten Trommelschieber *3* abgeschlossen ist; seine Größe ist so bemessen, daß je nach Belastung der Ofenanlage alle 1—2 Stunden der Schieber zum Nachfüllen geöffnet wird. Indem der Koks in der Kammer *4* langsam nach unten wandert, wird er entgast. Unten angelangt wird er durch die Sternwelle *5* ausgetragen und gelangt in den Entleerungsapparat *6*, welcher gegen die Außenluft durch den Wasserverschluß *7* abgesperrt ist[1]. Alle 2 Stunden etwa wird von Hand entleert. Der austretende Koks ist nur noch handwarm und vollkommen trocken. Das beim Glühen entweichende Gas entweicht am oberen Ende der Kammer und gelangt durch die Verbindungsleitung *8* zur Vorlage *9*. Von hier wird es der Reinigungsanlage zugeführt.

Das Heizgas für den Ofen wird in Einzelgeneratoren *10* erzeugt, die im Ofen für je zwei hintereinanderliegende Kammern eingebaut sind. Das heiße Generatorgas steigt durch die senkrechten Schächte *11* nach oben in den Verteilungskanal *12*; aus ihm tritt es durch die Schlitze der Brenner in die Heizkanäle ein. Die zum Brennen erforderliche Luft wird in dem Röhrenrekuperator *13* vorgewärmt, durch den Kanal *14* zum Verteilungskanal *15* geführt, welcher dem Kanal *12* parallel läuft, und gelangt ebenfalls durch die Brennerschlitze in die Heizkanäle. Die Rauchgase entweichen durch den Kanal *16*, durchstreichen den Rekuperator und gelangen über den Rauchkanal *15* zum Schornstein. Die gesamte Anlage steht frei und ist nur mit Schutzdach und seitlichem Schutz für die Teile über der Oberkante des Ofens versehen.

Abb. 49 zeigt das Modell eines solchen stetig betriebenen Ofens mit senkrechten Kammern, die mit Fremdgas beheizt werden; es war auf der Werkstoffausstellung in Berlin 1929 von Didier ausgestellt. Hier ist anstatt des Einzelgenerators oberhalb des Rauchkanals ein zweiter Röhrenrekuperator zur Vorwärmung des Fremdgases eingebaut. Die Zahlen in Abb. 49 bedeuten das gleiche wie in Abb. 48.

Neben den Öfen mit stetigem Betrieb werden auch heute noch zum Entgasen von Petrolkoks Öfen mit senkrechten Retorten oder Kammern benutzt, in denen der Koks während der Entgasung ruht. Je nach der Breite der Kammer und der Temperatur, auf welche die Wand erhitzt wird, ist die Entgasung nach etwa 8, 12 oder 24 Stunden beendet. Bei dem in Abb. 50 dargestellten Vertikalkammerofen von Didier wird Petrolkoks durch den Förderkübel *1* in den Bunker *2* oberhalb der Kammer gehoben; durch den eine Kammerladung fassenden Füllwagen *3* wird die Kammer *4* beschickt. Das ausgetriebene Gas entweicht durch das waagerechte Rohr *5* nach der Vorlage *6* und wird durch die Sammelleitung *7* zum Reiniger geführt. Nach beendeter Entgasung wird der

[1] Wenn man im Vorglühofen Anthrazit entgast, so ist es nicht so nötig, den abgezogenen Anthrazit vor dem Luftsauerstoff zu schützen, weil er weit schwerer als der Petrolkoks verbrennt. Es genügt, von außen zu kühlen.

Kammerinhalt durch Öffnen des unteren Exzenterverschlusses *8* in den Klapp-Kübelwagen *9* entleert. Der glühende Koks, der noch 800—1000° hat, würde starken Abbrand erleiden, wenn er nicht in luftdicht ver-

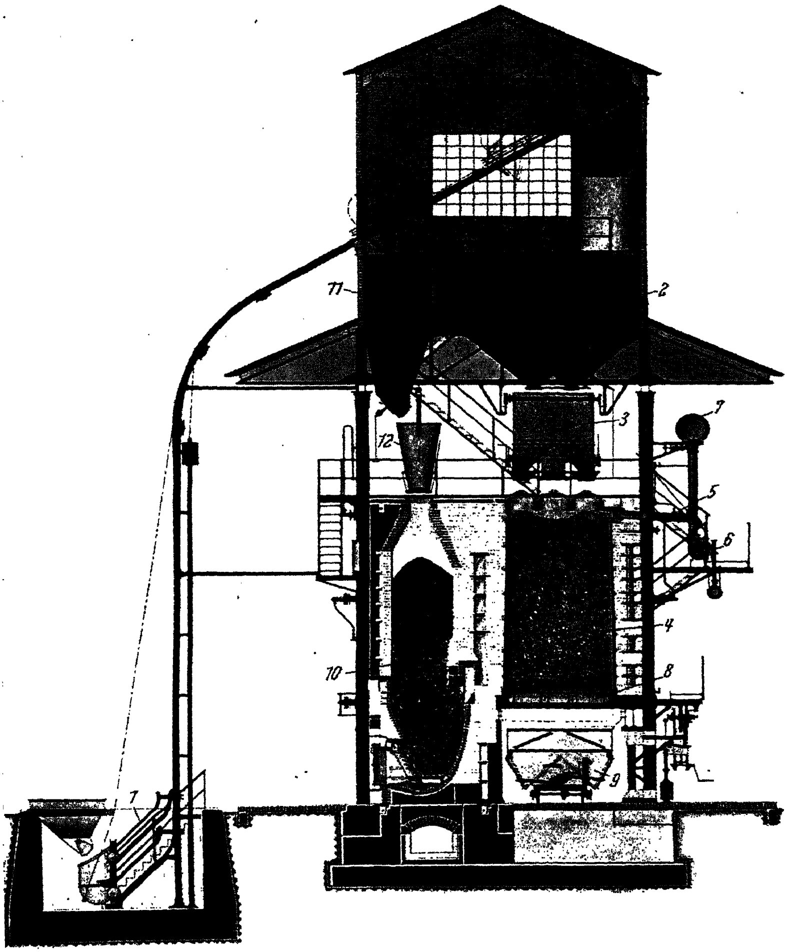


Abb. 50. Vertikal-Kammerofen.

schlossene Behälter abgekippt würde, wo er sich auf Außentemperatur abkühlt. Der zur Gewinnung des heizenden Generatorgases notwendige Gaswerkskoks wird durch den Kübelaufzug in den Bunker *11* gehoben und durch den Wagen *12* dem Generator *10* zugeführt. Aus Abb. 51 (Vertikal-Retortenofen) ist zu ersehen, wie das Generatorgas durch den Brenner *13* in die Heizwand *14* tritt. Die Abgase durchstreichen den

Rekuperator *15* und wärmen die durch den Kanal *16* fließende Verbrennungsluft vor. Die Rekuperatoren sind zu beiden Seiten des

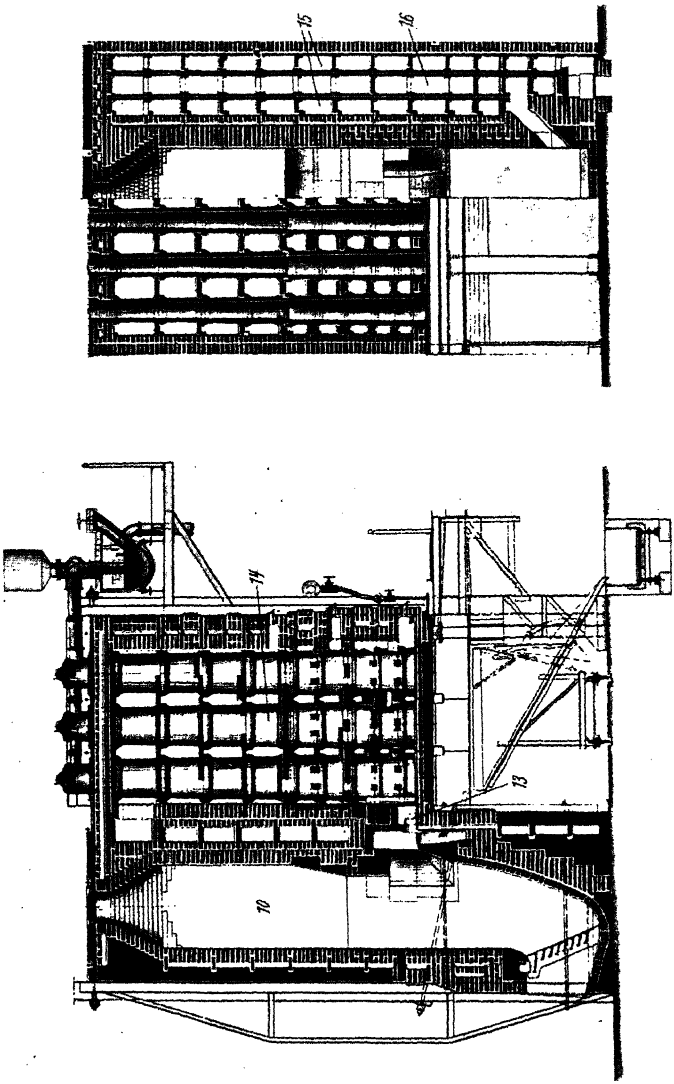


Abb. 51. 18er Vertikal-Retortenofen nach Dr. Bueb.

Generators angeordnet. Das bei dem Vorglühen des Petrolkoks oder Anthrazits gewonnene Destillationsgas kann selbstverständlich auch bei beiden Ofenarten von D i d i e r nach entsprechender Behandlung zum Ofen zurückgeführt und zur Beheizung verwendet werden.

Bei dem Betriebe der Vorglühöfen empfiehlt es sich, abwechselnd Petrolkoks und Anthrazit zu entgasen. Beim Vorglühen des Anthrazits setzt sich nämlich graphitische Kohle an der Innenwand der Kammer ab und verstopft die Ritzen. Wenn man nun aber fortdauernd mit Petrolkoks beschickt, so wird diese Dichtung allmählich aufgezehrt, und man erleidet durch die Undichtigkeiten erhebliche Verluste.

Elektrisch geheizte Vorglühöfen. Wo elektrische Energie reichlich und zu sehr billigem Preise vorhanden ist, bieten die elektrisch geheizten Kalzinieröfen[1] gewisse Vorteile; sie wurden in der amerikanischen Elektrodenindustrie zuerst verwendet. Abb. 52 zeigt einen solchen Ofen mit Bodenelektrode und einem Kranz von 8 oberen Elektroden. Er hat 4 m Durchmesser und ist 4,2 m hoch; er wird mit 1000 kVA belastet. Der eiserne Mantel *J* ist mit feuerfesten Steinen *D* ausgefüttert. Der Boden ist flach und mit feuerfesten Steinen besetzt; über ihnen liegt eine Schicht hochgrädiger trockener Kohle *M* und zuoberst eine dünne Lage Eisenblech. Das Blech soll verhüten, daß Teer, der vom Petrolkoks beim Erhitzen abgegeben wird, in das Futter läuft und es zerstört. In die Kohlenschicht am Boden sind radial 8 Eisenbarren *L* eingebettet; sie bilden mit dem Kohlenfutter die Bodenelektrode, welcher der Strom durch kupferne Verbindungsstücke aus den Stromschienen zugeführt wird. Die Stromschienen aus Kupfer oder Aluminium *G* umgürten den Ofenmantel und werden von ihm getragen. Die obere Elektrode wird durch 8 runde Kohlen *E* von etwa 15—20 cm Durchmesser und 1—1½ m Länge gebildet, welche über dem Ofen im Kreise an Drahtseilen *B* unter Zwischenschaltung von Isolatoren hängen und den Strom vom oberen Stromschienengürtel durch 4 m lange biegsame Kupferkabel *C* und senkrechte Eisenschienen *H* von etwa 25 × 150 mm Querschnitt und

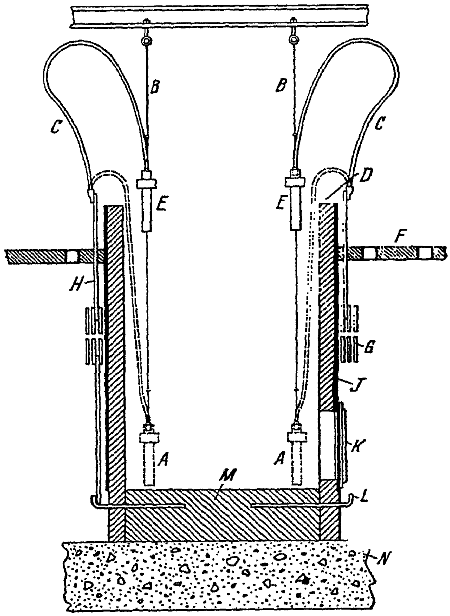


Abb. 52. Elektrischer Vorglühofen.

[1] Mantell: Industrial Carbon, S. 283—293. — Yardley, J. L. Mck.: Production of shrunk carbon in electrode manufacture. Chem. metallurg. Engng. Bd. 26 (1922) S. 321.

1,2 m Länge erhalten. Heben und Senken der Elektroden wird mit Winden von Hand besorgt[1]. Zum Schutz gegen Abbrand an der Luft sind die Elektroden mit Eisenblech ummantelt, wobei der Zwischenraum mit einer Paste aus Kohlenpulver und Teer ausgefüllt wird. Abb. 53 zeigt diese Einzelheiten.

Um den Ofen in Gang zu bringen, senkt man zunächst eine Elektrode, bis sie den Boden des Ofens berührt, häuft Petrolkoks herum und zieht durch leichtes Anheben den Lichtbogen. Sobald der Koks so heiß geworden ist, daß der Strom durch ihn seinen Weg nimmt, erzeugt man an der zweiten Elektrode den Lichtbogen, häuft Koks herum und fährt so fort, bis alle Elektroden arbeiten. Dann schüttet man Koks nach, hebt die Elektroden so rasch als möglich an und stellt sie so ein, daß genügend Strom dem Ofen zugeführt wird. Von Zeit zu Zeit wird wieder Koks nachgegeben und die Elektroden werden im Maße, wie der grüne Koks leitend wird, angehoben. In 8—12 Stunden ist der Ofen gefüllt, und die Elektroden haben ihren höchsten Stand erreicht. Nun setzt man das Heizen noch etwa 12 Stunden fort. Nach dieser Zeit hebt man die Elektroden heraus, schaltet den Strom ab und läßt den Koks noch 24 Stunden garbacken, damit die Hitze sich in der ganzen Beschickung verteilt und die flüchtigen Stoffe genügend Zeit haben, nach oben zu entweichen. Man hat nämlich festgestellt, daß der Rest an flüchtigen Bestandteilen sich umgekehrt proportional mit der Zeit des Garbackens ändert; je länger diese Zeit, um so weniger an flüchtigen Bestandteilen bleibt zurück.

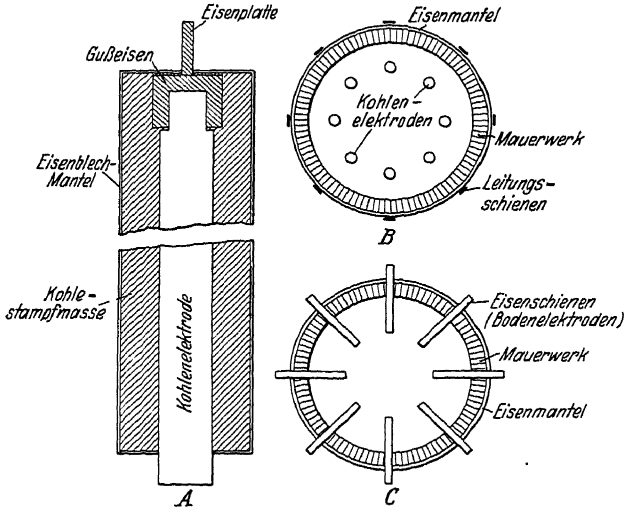


Abb. 5 . Einzelheiten am elektrischen Vorglühofen.

Zum Entleeren öffnet man die Seitentür, bricht das Mauerwerk auf und holt den noch rotglühenden Koks mit langen Rechen heraus. Zum Abkühlen breitet man ihn auf dem Boden in dünner Schicht aus oder

[1] In Abb. 52 bedeutet *A A* die Anfangs-, *E E* die Endstellung der beweglichen Elektroden, ferner *F* die Arbeitsbühne, *N* der Erdboden und *K* eine Tür zum Ausräumen des Ofens.

besprüht ihn, wenn nötig, mit Wasser. Mit dem Wasser muß man aber sparsam sein, damit alles verdampft. Wenn der Koks mehr als 0,3% Feuchtigkeit enthält, so klebt er beim Pulvern zusammen und verstopft die Mühle.

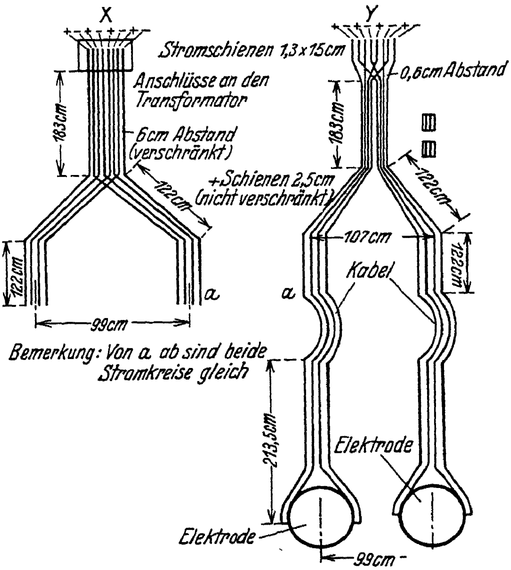


Abb. 54. Verschränken der Stromleitungen (um die Selbstinduktion zu verringern und damit den Leistungsfaktor zu erhöhen).

Der Einphasenwechselstrom, welcher mit hoher Stromstärke und niedriger Spannung mit 25 oder 60 Perioden arbeitet, macht gewisse elektrische Schwierigkeiten. Durch Verschränken der Stromleitungen, soweit angängig (Abb. 54), wird der Leistungsfaktor beträchtlich erhöht, wie die Kurven der Abb. 55 zeigen. In den Eisenmantel ist ein Messingring eingefügt, um magnetischen Schluß zu verhüten, welcher den Ofenstrom stören würde. Für eine Anlage, welche 50—60 t täglich liefern soll, sind 3 Öfen zu 1000 kVA oder 6 Öfen zu 500 kVA notwendig. Die 500-kVA-Öfen werden in zwei Gruppen zu je 3 geschaltet. Jeder Ofen hat 8 bewegliche und 8 feste Elektroden; von ihnen führen 8 unabhängige Stromkreise zu den Stromwandlern. Aus dem vom Netz gelieferten Dreiphasenstrom wird durch Scott-Schaltung Zweiphasenstrom entnommen. Die beiden durch ihn gleichzeitig mit Strom belasteten Öfen bilden einen genügenden Ausgleich für das Netz[1].

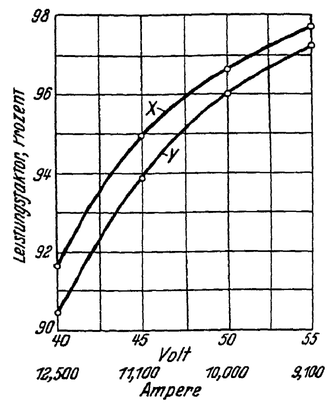


Abb. 55. Leistungsfaktor bei verschiedener Belastung (X mit, Y ohne Verschränken).

Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Parallelschaltung der 8 Elektroden. Bei den beweglichen Elektroden muß man die Stellung jeder einzelnen Elektrode so regeln, daß alle Elektroden möglichst die gleiche Strommenge führen. Andernfalls wird ein Teil der Beschickung zu stark, ein anderer zu schwach

[1] Die elektrische Einrichtung besteht aus 2 Sätzen von je 2 Umformern. Zunächst wird der Dreiphasenstrom von 13200 V in Zweiphasenstrom von 2200 V

erhitzt. Dies Übel verschlimmert sich dadurch, daß die höher erhitzte Kohle geringeren elektrischen Widerstand bietet und deshalb die Gefahr besteht, daß der Strom den Weg, welchen er zuerst eingeschlagen hat, nun erst recht bevorzugt[1].

Ein Vorteil dieses elektrischen Ofens ist sein verhältnismäßig einfacher Bau, ein großer Nachteil aber die Verschwendung der Hitze und der Verlust der ausgetriebenen brennbaren Gase. Man versuchte deshalb, geschlossene elektrische Öfen mit Verwertung der Abgase zu bauen. John W. Brown erdachte zuerst eine hohle Elektrode von großem Durchmesser, durch deren Höhlung die Beschickung von oben her zugeführt werden sollte. Danach ließ er sich 1915 einen stetig arbeitenden Ofen schützen, in dem die Gase oben abgesogen werden; die Beschickung wird ihm durch Trichter oben zugeführt, sinkt im Raum zwischen den oberen Elektroden abwärts und wird beim weiteren Abgleiten in dem heißesten Raume zwischen den oberen und den unteren Elektroden kalziniert. Die unteren Elektroden sind diesmal hohl; durch sie hindurch werden Gase eingeblasen, welche an anderen Stellen des Ofens entnommen sind. Diese Gase kühlen die Elektroden, erhitzen sich beim Aufstieg durch die Kalzinierzone und wärmen oben den grünen Koks vor. Der kalzinierte Koks wird am Boden der Kammer durch ein Becherwerk stetig entfernt. Später wurde der Ofen (Abb. 56) ersonnen, welcher ebenfalls ununterbrochen mit Auffangen der Gase

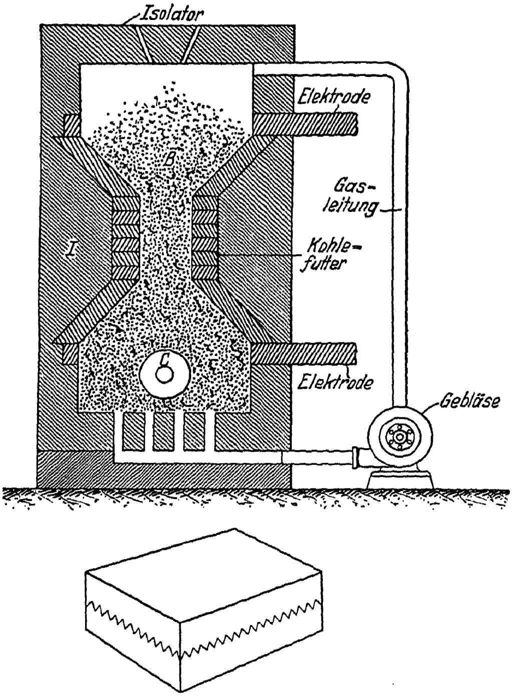


Abb. 56. Geschlossener elektrischer Vorglühofen.

gewandelt, und zwar können 2310, 2420, 2530 und 2640 V abgezapft werden. Diese Spannung von 2640 V wird in den Ofentransformatoren auf eine Spannung von 48, 54, 60, 66, 72, 84 V bei voller Belastung und 42 V bei herabgesetzter Belastung erniedrigt. Bei 2200 V Primärspannung erlauben diese Wandler 35—70 V in Stufen von 5 V abzuzapfen. Auf diese Weise kann man den Ofenstrom ganz nach Wunsch regeln.

[1] 500-kVA-Öfen werden auch ohne Bodenelektrode mit zwei oberen Elektroden gebaut.

und Ausnutzung der Abwärme arbeitet. In das Mauerwerk *I* des Ofens sind die oberen und die unteren Elektroden eingebettet. Die Beschickung *B* tritt oben ein, rutscht an der oberen Elektrode vorbei in die mit Kohle gefütterte Einschnürung[1], wo die Kalzinierung im wesentlichen durchgeführt wird. Von hier gelangt sie in die untere Erweiterung und wird schließlich durch ein Becherwerk *C* abgeführt. Die am Boden eingeblasenen Gase kühlen den kalzinierten Koks, erhitzen sich im Mittelraum und heizen oben den grünen Koks vor.

Bei anderen Konstruktionen wird ein Teil der Beschickung verbrannt, um den übrigen Koks vorzuheizen und dadurch an Heizstrom zu sparen.

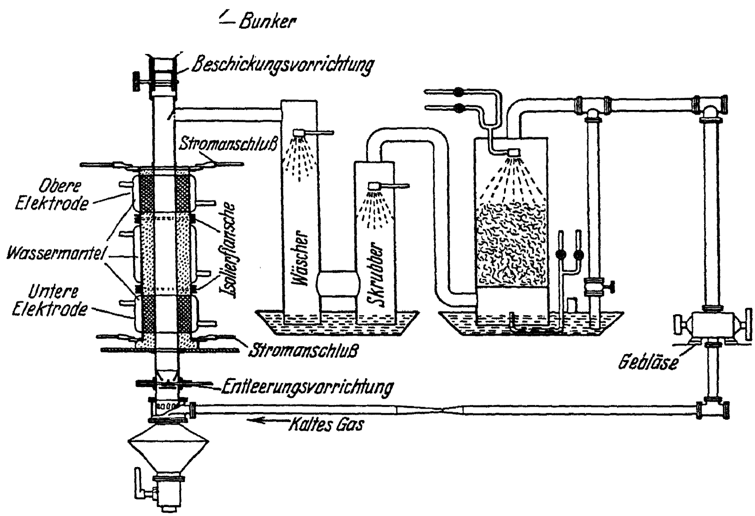


Abb. 57. Elektrischer Vorglühofen von Hoopes.

Abb. 57 zeigt schließlich eine verbesserte Anordnung von William Hoopes, bei welcher auch die in den Gasen enthaltenen wertvollen Bestandteile gewonnen werden, bevor das Gas in den Ofen zurückgeführt wird. Der Ofen ist aus drei voneinander isolierten Teilen aufgebaut. Der Oberteil und der Unterteil sind mit Formstücken aus Elektrodenmasse ausgesetzt, der Mittelraum dagegen mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet und durch einen Wassermantel gekühlt. Nachdem das oben abgesogene Gas durch die Skrubber gegangen, gereinigt und gekühlt ist, wird mit Hilfe eines T-Stückes ein Teil des Gases dem Ofen wieder zugeführt. Es kühlt den fertigen Koks, verteilt im Heizraum die Hitze gleichmäßiger und bringt den grünen Koks auf eine so hohe Temperatur, daß er leitet, wenn er die Heizzone erreicht.

[1] In Abb. 56 ist unten einer der Kohlenblöcke zu sehen, die zur Ausfütterung dienen.

Solche Hoopes-Öfen arbeiten auf dem riesigen Werke Arvida der Aluminum Co of Canada. Der vom Lager entnommene gebrochene Koks wird zunächst mit schwingendem Sieb gesichtet; der grobe und der feine Koks werden zu getrennten Vorratsbehältern im Kalzinierhaus überführt. Aus diesen werden die gewünschten Mengen entnommen und so gemengt, daß die Öfen immer die gleiche Mischung von Grob und Fein bekommen. Dies hat sich als notwendig für ein gleichmäßiges Arbeiten des Ofens erwiesen. Das überschüssige Gas (hauptsächlich Kohlenoxyd und Wasserstoff) wird in Arvida als Zusatzfeuerung für Dampfkessel benutzt.

Der von den elektrischen Kalzinieröfen gelieferte Koks ist dichter als der, welchen die mit Gas geheizten Retorten erzeugen, weil die Temperatur des elektrischen Ofens höher ist. Aus dem gleichen Grunde leitet auch der im elektrischen Ofen kalzinierte Koks den Strom besser[1]. Die mit Gas geheizten Retorten arbeiten aber jedenfalls billiger, zumal wenn man die entweichenden Gase zum Heizen der Retorten verwendet. Wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat der Abbrand an Koks, welcher bei undichten Retorten verhängnisvoll hoch sein kann; gelegentlich wurde ein Verlust von 30—40% des ursprünglichen Gewichtes beobachtet.

Viertes Kapitel.

Brechen und Mahlen, Sieben und Sichten[2].

Allgemeines. Der vorgeglühte Koks und nach Bedarf auch andere Rohstoffe müssen vor der Verwendung noch auf passende Korngröße zerkleinert werden. Die großen Stücke werden zunächst gebrochen, dann zu kleinen Bröckchen zerschrotet und schließlich, soweit es nötig ist, zu Pulver gemahlen. Jeder Rohstoff erfordert für seine sachgemäße wirtschaftliche Zerkleinerung Vorrichtungen, die seiner Eigenart (Härte, Sprödigkeit usw.) angepaßt sind. Im allgemeinen muß man an die Zerkleinerungsmaschinen folgende Anforderungen stellen. Sie sollen einfach gebaut sein, so daß man sie leicht zusammensetzen und auseinander nehmen kann. Die dem Mahlgut ausgesetzten Teile sollen möglichst wenig verschleißen; die dennoch nötigen Auswechslungen und Ausbesserungen sollen leicht auszuführen sein. Der Kraftverbrauch soll klein (die neueren Mühlen erfordern nur halb soviel Kraftaufwand

---

[1] Nach den amerikanischen Vorschriften soll der Koks für die Körnung, welche zwischen den Sieben von 35 und 100 Maschen bleibt, einen Widerstand von höchstens 0,05 Ohm für den Kubikzoll besitzen (127 Ohm für 1 mm^2 Querschnitt und 1 m Länge).

[2] Naske, Carl, Zerkleinerungsvorrichtungen und Mahlanlagen. 3. Aufl., Leipzig 1922.

wie die alten), der Anteil des Arbeitslohnes an den Betriebskosten möglichst niedrig und schließlich der Anschaffungspreis nicht zu hoch sein.

Was die zum Zerkleinern nötige mechanische Arbeit anlangt, so ist sie nach der Theorie von Rittinger der Anzahl der aufzuspaltenden Flächen proportional. Um etwa einen Würfel von 1 cm Kantenlänge in 64 Würfel von $^1/_4$ cm aufzuteilen, ist dreimal soviel Arbeit nötig als ihn in 8 Würfel von $^1/_2$ cm zu zerlegen. Bei Messungen, die von Reytt auf der Silberhütte in Przibram durchführte, brauchte

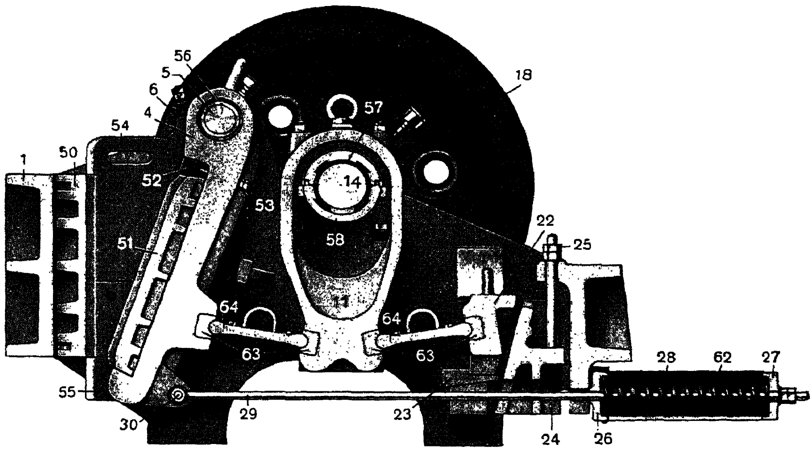


Abb. 58. Backenbrecher.

1 Brecherrahmen.
4 Schwinge
5 Schwingenachse
6 Lagerdeckel zu den Schwingenlagern
11 Zugstange
14 Kurbelwelle
18 Schwungräder
22 Gleitstück
23 Keilschrauben
24 Keilstück
25 Vierkantschrauben zum Keilstück
26 Vorderer Federteller
27 Hinterer Federteller
28 Federhülse
29 Federzugstange
30 Bolzen zur Federzugstange
50 Stirnwandbrechbacke
51 Schwingenbrechbacke
52 Klemmkeil
53 Schrauben zum Klemmkeil
54 Obere Seitenkeile
55 Untere Seitenkeile
57 Obere Lagerschale zur Zug-
58 Untere Lagerschale zur Zugstange
59 Schrauben zur Zugstange
62 Druckfeder
63 Kniehebelplattenlager
64 Kniehebelplatten

er, um 1 kg Erz von 16—8 mm Brockengröße auf 4—1 mm zu zerkleinern 500 mkg, dagegen auf 1—0,3 mm 800 mkg und unter 0,3 mm 1800 mkg.

Um eine zu weitgehende Mahlung und unnötigen Mehraufwand an Arbeit zu vermeiden, sollen die Teilchen von genügender Feinheit sofort die Zerkleinerungsvorrichtung verlassen.

Steinbrecher. Große Klumpen bis 30 cm Weite können durch Steinbrecher mit Brechbacken, sogenannte Backenbrecher, zer-

kleinert werden. Bei den Backenbrechern (Abb. 58) wird das aufgegebene Gut in einem keilförmigen Raum zerkleinert, der von der Stirnseite des Brecherrahmens 1, der Schwinge 4 und den beiden Seitenkeilen 54/55 gebildet wird. Die auf- und abgehende Zugstange 11, die von der Kurbelwelle betätigt wird, wirkt auf ein aus den beiden Platten 64 bestehendes Kniehebelsystem so ein, daß sich dieses abwechselnd streckt und beugt, wobei die pendelnd aufgehängte Schwinge nach der Brecherrahmen-Stirnseite hin- und zurückbewegt wird. Bei der Streckung des Hebelsystems verengt sich der Brechraum, dabei entsteht der Brechdruck, und das im Brechraum befindliche Gut wird zertrümmert. Die Zahnung der Brechbacken 50 und 51, die als Panzer für Schwinge und Brecherrahmen dienen, erhöht diese Wirkung. Bei dem Rückgang der Schwinge wird der Brechraum wieder vergrößert, das zerkleinerte Gut, das in der Korngröße der unteren Weite des Brechraums — der Brechspaltweite — entspricht, fällt heraus, während das noch nicht genügend zerkleinerte Gut im Brechraum tiefer rutscht. Eine Druckfeder 62 hält das lose ineinandergreifende System mit der Federzugstange 29 zusammen.

Die Stückgröße des gebrochenen Gutes wird durch den Abstand der beiden Brechbacken an der Unterseite — die Brechspaltweite — bestimmt, die durch Anheben und Senken des Keilstückes 24 in gewissen Grenzen verstellt werden kann. Die Keilschrauben 23 der größeren Brecher dienen zum Festklemmen des Gleitstückes, so daß es sich in seinen Führungen nicht abnutzen kann.

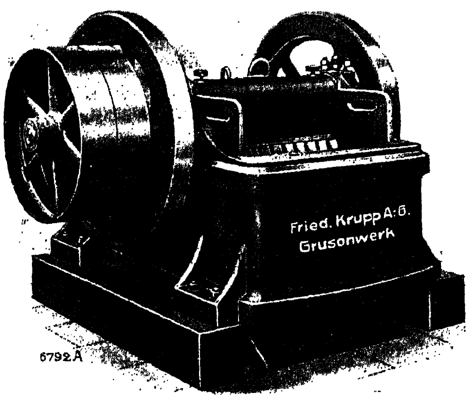


Abb. 59. Backenbrecher.

Alle Teile, die durch die ständige Berührung mit dem Gut verschleißen oder sich durch Lagerreibung abnutzen, lassen sich schnell und bequem auswechseln. Das Lager der Schwingen ist ausgebuchst und die Deckelschrauben des Lagers sind durch zwei Spannringe entlastet.

Die Brechbacken und Seitenkeile werden meist aus Manganhartstahl hergestellt, der in seinem ganzen Gefüge gleichmäßig zähe und hart ist, während Schalenhartguß eine starke glasharte Oberfläche besitzt. Abb. 59 zeigt die äußere Ansicht eines Backenbrechers zum Zerkleinern von Kohlen. Er ist wegen der geringeren Härte der Kohlen leichter

gebaut und erfordert weniger Betriebskraft als ein Brecher für hartes Gestein. Bei einem Kraftbedarf von 10 PS leistet er mit 60 mm Spalt stündlich etwa 30 m³. Abb. 60 zeigt die Reihe der Brecher in der Ratiborer Elektrodenfabrik.

Kegelbrecher. Bei dem Kegelbrecher oder Rundbrecher (Abb. 61) läuft ein Kegel exzentrisch in einem Hohlkegel, zerrt das in den Zwischenraum gebrachte Gut mit und bricht es; er liefert wenig Schrot und Mehl, arbeitet stetig, ohne Stoß und ruhiger als der unstetig, nur beim Vorgehen arbeitende Backenquetscher.

Die senkrechte Hauptachse ist am oberen Zapfen bei M aufgehängt;



Abb. 60. Brecher in Ratibor.

ihr unterer Teil läuft in einem Lagerbuchsenpaar, zu dessen äußerem Durchmesser die Bohrung der inneren Buchse exzentrisch liegt. Die äußere Buchse ist mit dem großen Kegelrade des Antriebes fest verbunden. Aus den verschiedenen Maßen von z_1 und z_2 ist der exzentrische Sitz zu ersehen. Wenn sich die Kegelräder drehen, so beschreibt die innere Lagerbuchse einen Kreis um die Mittelachse des Brechers und nimmt den Unterteil der Hauptachse mit, welche wegen ihrer pendelnden Aufhängung mit dem Brechkegel kreist, ohne sich selbst zu drehen. Der kleinste Spalt y_1 zwischen Brechkegel und Brechring wandert dabei am Umfang entlang; gegenüber befindet sich stets der größte Spalt y_2. Das zu brechende Gut rutscht dauernd in dem sichelförmigen Brechspalt nach, wird von dem sich gewissermaßen darüber hinwälzenden Brechkegel gebrochen, fließt in dem wieder erweiterten Spalt durch den Brechraum und gleitet über die Auslaufschurre aus dem Brecher. Die

größte Ausführung vermag Stücke bis 22 × 30 cm zu brechen, bedarf 70—90 PS und bewältigt bei 30 mm Spalt stündlich etwa 27 m³, bei der größten Spaltweite von 75 mm dagegen 55 m³.

Walzenmühlen. Kleinere Brocken werden in Walzenmühlen grob gekörnt (geschrotet), indem sie zwischen zwei Walzen zerquetscht werden. Nur die eine Asche ist fest, die andere als Gleitlager ausgebildet

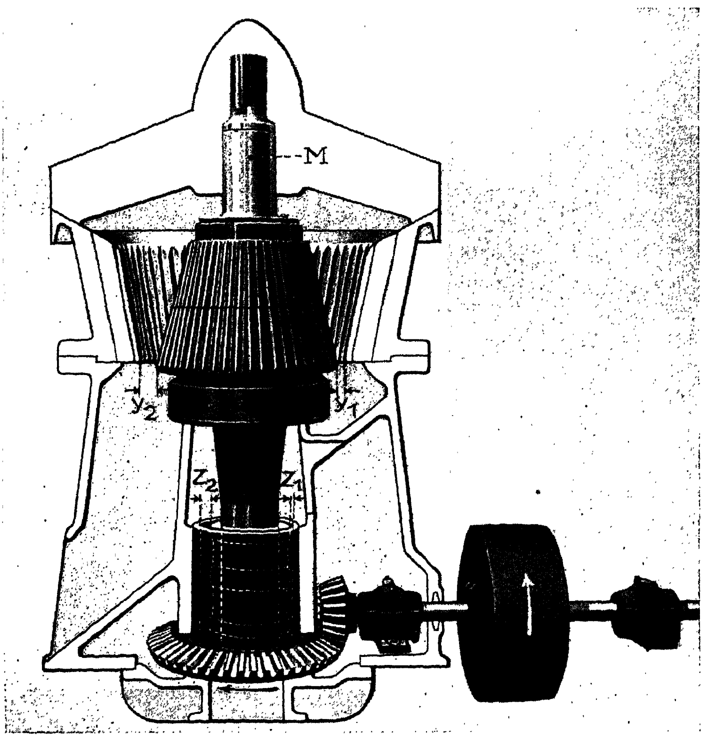


Abb. 61. Kegelbrecher.

und durch stählerne Federn so belastet, daß die höchste Federspannung den zur Zerkleinerung nötigen Druck um ein gewisses Maß übersteigt. Die Umfangsgeschwindigkeit der sich drehenden Walze darf nicht zu groß sein (meist 2—2,5 m in der Minute); sonst wird das Gut nicht mehr eingezogen, und das Walzwerk verstopft sich. Abb. 62 zeigt eine Doppelbrechmaschine, deren Brechwalzen aus einer Anzahl leicht auswechselbarer Scheiben aus widerstandsfähigstem Hartguß bestehen, die teils mit Spitzen, teils mit Schneiden versehen sind. Diese sind paarweise so angeordnet, daß die Spitzen der einen Walze den Schneiden der anderen gegenüberstehen. Durch Verschieben einer Walze kann der Brechspalt

zwischen jedem Paar je nach der verlangten Korngröße verändert werden. Zermahlen und Grusbildung ist möglichst vermieden. Die Maschine wird durch Kuppelräder und Rädervorgelege mit etwa 80 Umdrehungen in der Minute angetrieben. Beim Brechen von Graphit verbraucht sie z. B. 8 PS und leistet bei 50—60 mm Spaltweite stündlich 12 t.

Glockenmühlen. In der Glockenmühle zerkleinert der mit Brechzähnen versehene, durch Kegelräder angetriebene Brechkegel das Gut, das zwischen ihn und den ruhenden, ebenfalls mit Brechzähnen bewaffneten Brechmantel gelangt. Abb. 63 zeigt eine freistehende Glockenmühle, die von unten angetrieben wird; Abb. 64 zeigt den Mahlkegel und den Mahlrumpf besonders; bei beiden wird der Oberteil und der

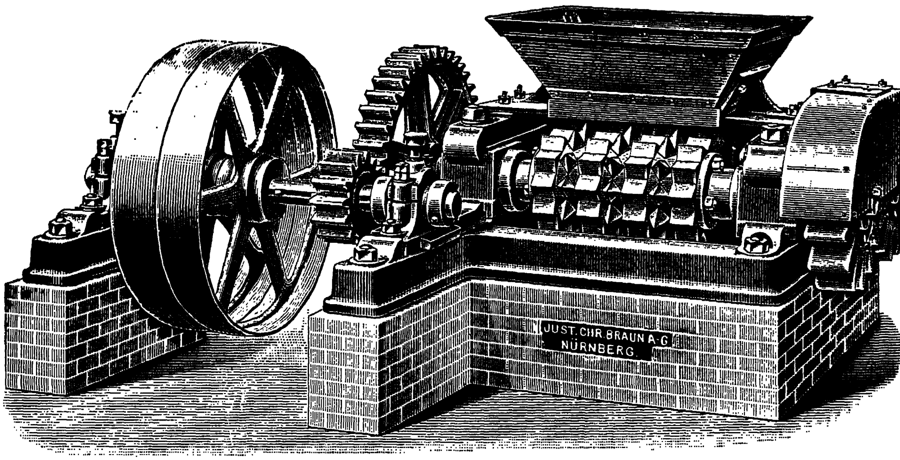


Abb. 62. Doppel-Brechmaschine.

feiner geriffelte Unterteil in zwei Stücken hergestellt, damit man den sich stärker abnutzenden Unterteil für sich ersetzen kann. Der Abstand zwischen Mahlrumpf und Mahlkegel läßt sich durch eine Stellvorrichtung regeln. Bei engem Spalt erhält man Körner von Erbsengröße, vermischt mit Grieß und Mehl. Die Glockenmühle eignet sich für trockene mittelharte Stoffe.

Schlagmühlen. Bei den Schlagmühlen wird das Gut zwischen Stiften oder Nasen oder Flügeln, die auf einer rasch umlaufenden Mahlscheibe sitzen, und den in die Lücken greifenden Vorsprüngen zerbrochen, mit denen die Innenseite der die Mahlscheibe umfassenden Trommel besetzt ist. Bei der Schlagnasenmühle ist die Mahlscheibe reihenweise mit kräftigen Nasen besetzt, welche gegen feste Knaggen arbeiten; die Knaggenringe sind zwischen den Nasenringen angeordnet. Die Schlitze zwischen beiden werden von Ring zu Ring enger, so daß beim Durchgang durch die Mühle das Gut stufenweise zerkleinert wird. Bei der Schlag-

kreuzmühle wird das Gut durch Flügel zerschlagen; die Zyklopmühle ist mit gelenkigen Schlägern ähnlich Dreschflegeln ausgerüstet.

Stampfmühlen. Stampfmühlen oder Pochwerke eignen sich besonders zum Zerschlagen spröder Stoffe. Abb. 65 zeigt ein dreifaches Stampfwerk, welches das von Hand geputzte Rohmaterial in kleine Stücke zerstampft. Die Stampffläche besteht aus einem Stahlplattenrost, durch dessen Zwischenräume die zerkleinerten Teile fallen. Durch Beilagen zwischen den Rostplatten kann nach Bedarf gröber oder feiner gestampft werden. Das abgebildete von Pemsel[1] (Braun) gebaute Stampfwerk wird mit 45—50 Umdrehungen in der Minute betrieben und verbraucht 2 PS. Die Leistung ist beim Trockenmahlen gegenüber den anderen beschriebenen Zerkleinerungsvorrichtungen gering.

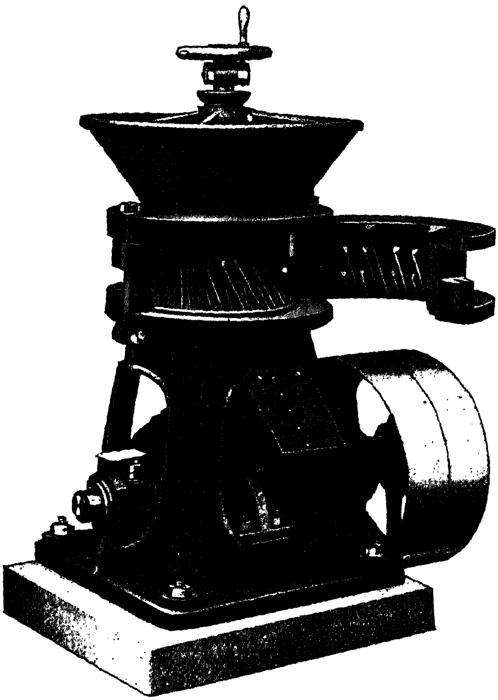


Abb. 63. Glockenmühle.

Kollergänge. Bei dem Kollergang laufen sehr schwere verhältnismäßig schmale Walzen im Kreis auf einer Bodenplatte mit erhöhtem Rand, der Mahlbahn, und zerquetschen durch ihr Gewicht das auf die Mahlbahn gegebene Gut. Es fällt durch Siebroste hinab, während die noch nicht genügend zerkleinerten Stücke durch ein Scharrwerk wieder vor die Läufer geschoben werden. Abb. 66 zeigt einen freistehenden Mahlkollergang, welcher das vom Stampfwerk oder dem Brecher kommende Gut zu Grieß zerkleinert; öfteres Absieben mit Handsieb ist notwendig. Die senkrechte Achse führt den Namen Königswelle. Anstatt daß die Läufer sich mit der Königswelle drehen und die Mahlbahn feststeht, drehen bei anderen Ausführungen die Läufer sich auf der Stelle, während die mit der Königswelle fest verbundene Mahlbahn kreist.

[1] Nachdem die Aktiengesellschaft Just. Christ. Braun ihren Betrieb eingestellt hatte, übernahm 1912 Friedrich Pemsel in Nürnberg zu seinem langjährigen Spezialbau hydraulischer Pressen, Preßpumpen und Kohlenstiftmaschinen die Konstruktionen von Braun.

Weil die zylindrischen Läuferwalzen auf ihrer Innenseite einen kleineren Weg als auf ihrer Außenseite zurücklegen, so überlagert sich

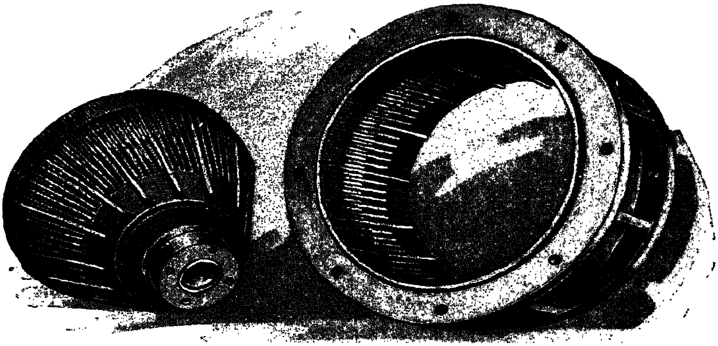


Abb. 64. Mahlkegel und Mahlrumpf der Glockenmühle.

über die rollende Bewegung eine gleitende Bewegung, durch welche das Gut zerrieben wird. Abb. 67 zeigt einen Kollergang (in Verbindung mit einem Siebwerk), dessen Läuferachsen als Schleppkurbeln unabhängig voneinander an der Königswelle gelagert sind, so daß sich jeder Läufer einzeln heben oder senken kann, also ein Schrägstellen der Läufer gegen die Mahlbahn auch bei ungleicher Verteilung des Mahlgutes vermieden wird; hierdurch wird erreicht, daß die Maschine leicht läuft, Mahlbahn und Läufer geschont werden und die Leistung möglichst hoch ist. Die Läuferringe sind mit Hartholzkeilen auf den gußeisernen Läuferkörpern befestigt. Die Mahlbahn ist aus mehreren Platten zusammengesetzt und in eine Vertiefung des Läufertellers eingelassen. Wenn eine ganz bestimmte Feinheit verlangt wird, so wird zweckmäßig unmittelbar an den

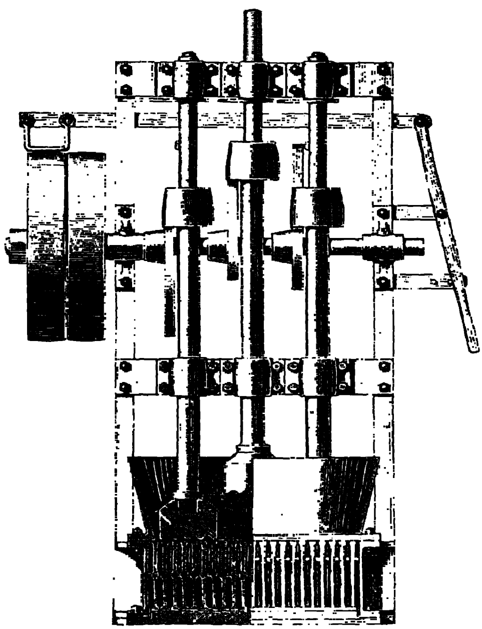


Abb. 65. Dreifaches Stampfwerk.

Kollergang eine Siebtrommel (wie in Abb. 67) oder auch ein Schüttelsieb angeschlossen. Das Siebgrobe wird selbsttätig auf den Kollergang zurückgeführt. Damit kein Staub austritt, können Läuferteller und Läufer mit einer Blechhaube abgedeckt werden.

Fliehkraftmühlen. Bei den Pendelmühlen, Fliehkraftkugelmühlen und Fliehkraftwalzenmühlen wird das Gut so rasch gegen eine Wand

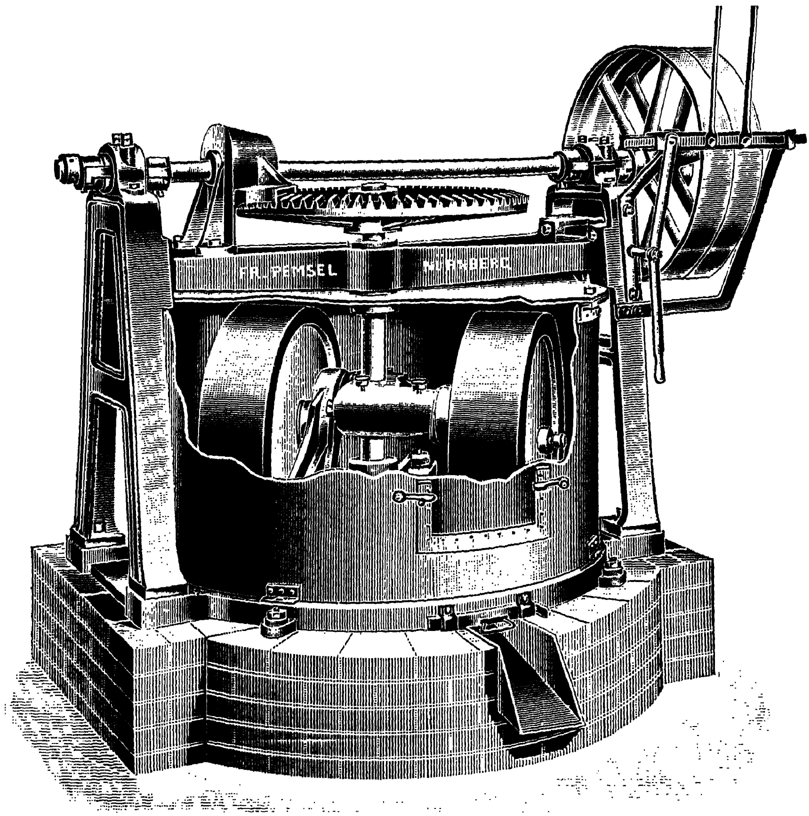


Abb. 66. Freistehender Mahlkollergang.

geschleudert, daß es zerbricht. Bei der Pendelmühle sind kegelförmige Walzen an Stangen pendelnd aufgehängt; sie kreisen so rasch, daß zwischen Walzen und Bahn das Gut zertrümmert wird. Die Rollenmühle der Raymond Brothers Impact Pulverizer Co. in Chicago (Abb. 68) arbeitet mit vier Walzen *a*, die an einem von einer stehenden Welle *b* angetriebenen Mitnehmerkreuz *c* pendelnd aufgehängt sind und an dem Mahlring *d* abrollen. Vor jeder Walze ist eine Schaufel angebracht, die das Mahlgut in einem ununterbrochenen Strome zwischen Mahlring

und Rolle leitet. Das fertige Gut wird durch einen Windsichter *e* ausgetragen; er ist auf den Mahlraum gesetzt. Die von einem angebauten Ventilator angesaugte Luft tritt in den Mahlraum unten durch eine Anzahl tangentialer Öffnungen ein, hebt das Feine nach oben und setzt es in einem „Zyklon" ab, in dem die Luft in einer langen Spirale kräftig wirbelnd nach unten geleitet wird. Während das nach außen getriebene Mehl sich an der Wand des Zyklons absetzt und

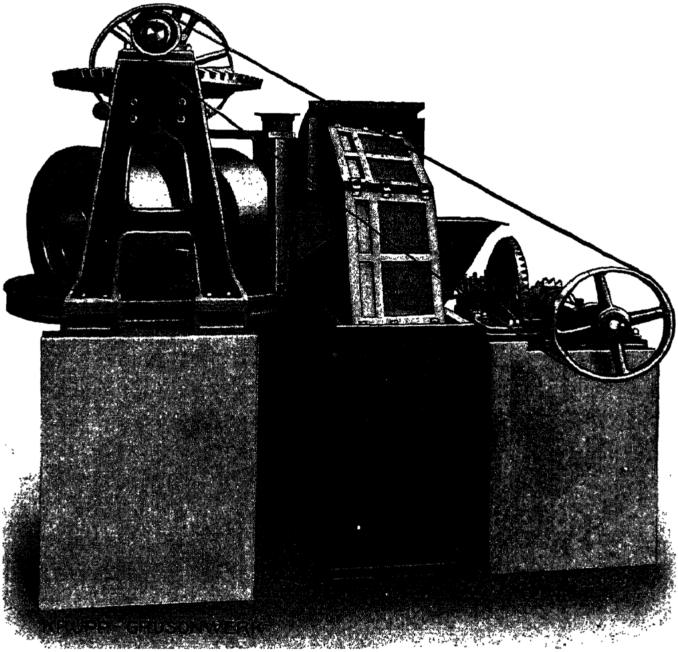


Abb. 67. Kollergang und Siebtrommel.

zum Ablauf gleitet, wird die innere von Staub befreite Luftschicht aus dem Zyklon wieder in den Windsichter zurückgeführt.

Kugelmühlen. Bei der Kugelfallmühle (Abb. 69) befinden sich in der Mahltrommel mit dem Mahlgut zusammen zahlreiche Kugeln aus Stahl oder eiförmige Flintsteine. Indem sich die Trommel langsam[1] dreht, überstürzt sich der Inhalt; das Gut wird dadurch allmählich zertrümmert und zu Mehl zerrieben.

[1] Falls die Trommel sich zu rasch drehte, so würde die Fliehkraft die Kugeln und das Gut fest an die Wand drücken und die Mahlung bliebe aus. Wenn D der Durchmesser der Trommel ist, so beträgt die zulässige Umdrehungszahl in der Minute n:

$$n = \frac{23 \text{ bis } 28}{\sqrt{D}}$$

Die Platten, aus denen die Wandung der Trommel zusammengesetzt ist und mit denen ihre Stirnflächen ausgekleidet sind, bestehen aus hartem Stahl. Durch Öffnungen in den Mahlplatten tritt das zerkleinerte Gut heraus und in eine Siebtrommel über. Gewöhnlich ist zum Schutze des feinen Drahtgewebes, mit welchem die Siebtrommel bespannt ist, ein Sieb aus starkem Eisenblech zwischengeschaltet. Die auf dem Sieb verbleibende „Gröbe“ kehrt in die Mahltrommel zurück. Das Ganze ist in einem Blechgehäuse staubdicht eingeschlossen, an das sich unten ein Auslauftrichter anschließt. Abb. 70 zeigt eine Kugelmühle nach Abnahme des Staubgehäuses mit bloßgelegten Mahlplatten. Verbesserungen der Kugelmühle hatten vor allen Dingen das Ziel, die ungenügende Ausnutzung der Siebe möglichst zu beseitigen und das Auswechseln von verschlissenen Platten oder beschädigten Sieben zu erleichtern, sowie überhaupt den Verschleiß möglichst zu verringern.

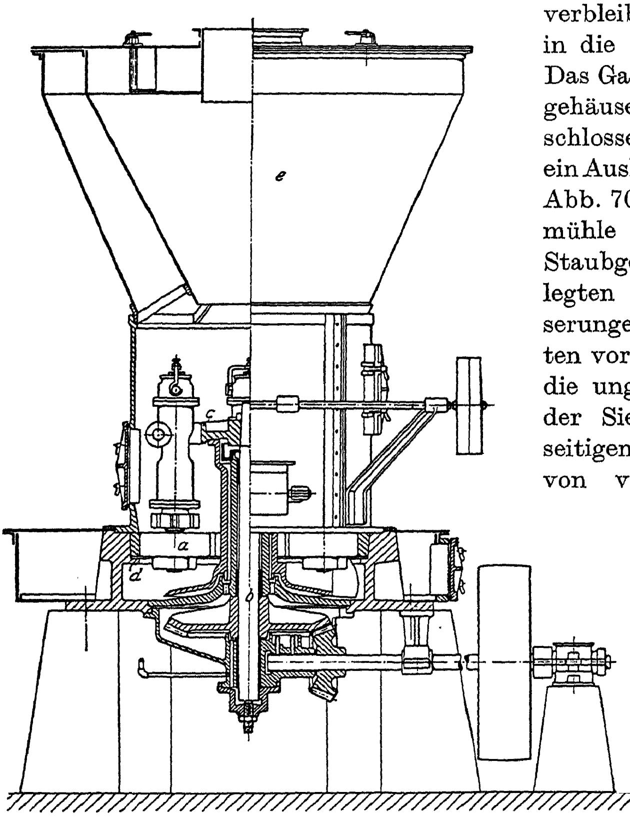


Abb. 68. Fliehkraft-Rollenmühle.

Rohrmühlen. Durch Verlängern der Kugelmühle ist die Rohrmühle entstanden, welche 1892 zuerst in die Zementindustrie eingeführt wurde und sich sehr rasch verbreitete. In ihr legt das Mahlgut einen so langen Weg zurück, daß es am Ende der Mühle genügend gefeint ist und ein Absieben sich erübrigt. Jedoch ist Vorschroten nötig. Der schmiedeeiserne Mantel der Rohrmühle ist mit Hartguß ausgekleidet. Am einen Ende wird das Mahlgut aufgegeben, am anderen Ende das fertige Gut stetig ausgetragen, und zwar beide Male am Umfang der Trommel oder durch den hohen Endzapfen. Die sehr zahlreichen apfelgroßen Stahlkugeln oder Flintsteine werden von der sich langsam drehenden Trommel bis zu einer gewissen Höhe mitgenommen, stürzen dann im Bogen herab,

zerschlagen das Mahlgut, treiben es in die benachbarten Hohlräume als die Stellen geringsten Widerstandes und drängen es allmählich nach dem Auslauf. Der Verschleiß ist bei der Rohrmühle gering. Die Kugelfüllung wiegt z. B. bei der Molitor-Rohrmühle, die 4 m lang ist und 1,8 m Durchmesser hat, 12000—16000 kg. Durch Vorschalten einer Kugelmühle als Vormühle erhält man die **Verbund-Rohrmühlen**, welche die vorteilhafteste Maschine zum Feinmahlen vorgebrochener harter Stoffe darstellen. Voraussetzung für ihr richtiges Arbeiten ist, daß das zu vermahlende Gut trocken und in Stücken von etwa Nußgröße oder feiner zugeführt wird. Die Verbund-Rohrmühle (Abb. 71) besteht im wesentlichen aus einem langsam umlaufenden geschweißten

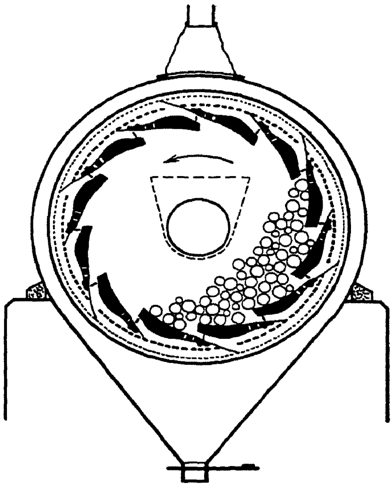


Abb. 69. Kugelfallmühle.

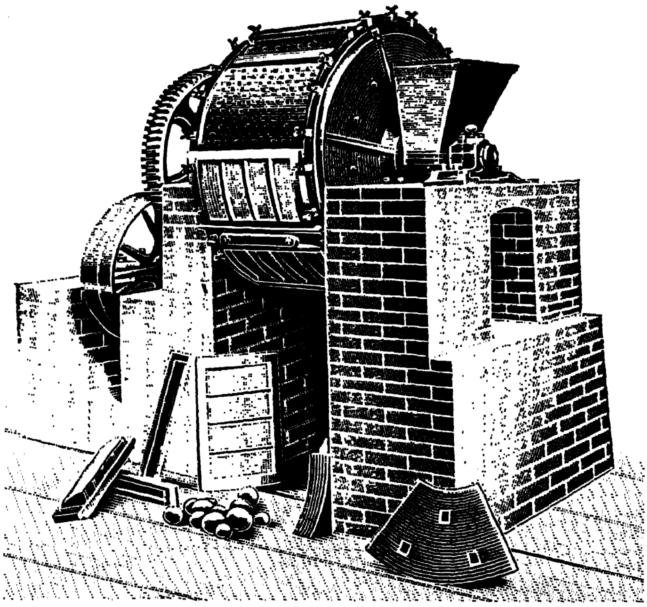


Abb. 70. Kugelmühle (Gehäuse geöffnet).

Blechrohr, das an beiden Enden geschlossen und durch eine Querwand in einen Vormahlraum und einen längeren Feinmahlraum geteilt ist. Anstatt

der Stahlkugeln können bei Mahlgut von geringer Härte im Feinmahlraum Flintsteine verwendet werden. Das Rohr ist mit auswechselbaren Hartstahlplatten ausgekleidet, welche im allgemeinen mit schlichter Mahlfläche, auf Wunsch auch gewellt oder mit vorspringenden Leisten geliefert werden. Jeder der beiden Mahlräume ist durch ein Mannloch zugänglich. Die abgebildete Mühle ist an der Einlaufseite mit einem kräftigen Hohlzapfen, durch den das zu vermahlende Gut eingeführt

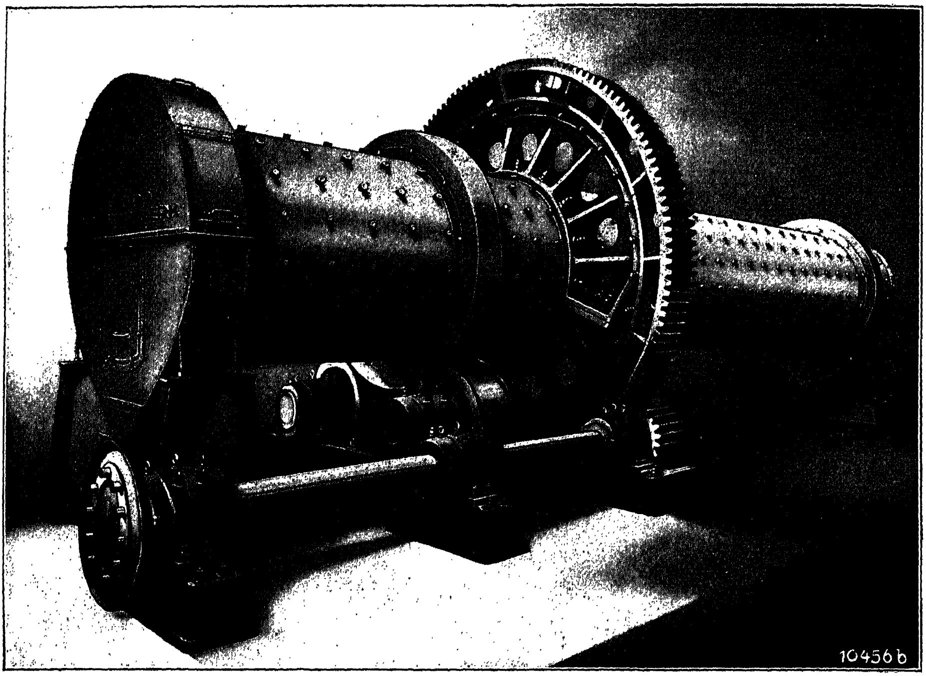


Abb. 71. Verbund-Rohrmühle.

wird, an der Austragseite mit einem Laufring auf Rollen gelagert. Durch Schlitze in der Zwischenwand tritt das im Vormahlraum zu Grieß vermahlene Gut in den Feinmahlraum über. Indem man diese Zwischenwand, welche ebenfalls beiderseits mit auswechselbaren Platten bekleidet ist, in der Längsrichtung der Trommel verschiebt, kann man das Größenverhältnis von Vor- und Feinmahlraum der Beschaffenheit des Mahlgutes anpassen. Die beim Betrieb eintretende Gewichtsverminderung der mahlenden Kugeln ist durch Hinzufügen neuer Kugeln von Zeit zu Zeit auszugleichen. Abgesehen davon, daß die Verbundmühle keine Siebe braucht, besitzt sie wie überhaupt die Rohrmühlen den großen Vorteil, daß sie ihrer Natur nach unempfindlich gegen Fremdkörper ist,

während z. B. in Walzenmühlen große Nägel und andere dem Zerkleinern widerstehende Körper arge Beschädigungen anrichten können. Der Verschleiß wird sehr verringert, wenn alle beweglichen Teile staubsicher außerhalb des Mühlenraumes untergebracht sind. Bei dem „Centra“-Antrieb (Abb. 72) treibt ein Elektromotor über ein in Öl laufendes Präzisions-Zahnrädergetriebe mittels einer Kuppelspindel die Mahltrommel an. Mit der Antriebswelle ist der Motor elastisch gekuppelt.

Siebvorrichtungen. Um die zerkleinerten Rohstoffe nach ihrer Korngröße zu trennen, benutzt man entweder ruhende oder bewegliche

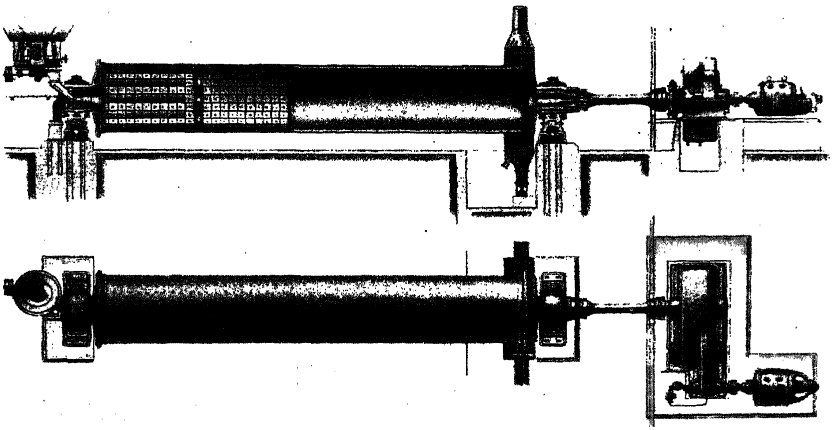


Abb. 72. „Centra“-Antrieb der Rohrmühle.

Siebe. Die ruhenden Siebe sind entweder Stangenroste oder gelochte Platten oder Drahtgitter. Die ruhenden Roste sollen zumeist grobe Teile zurückhalten und die Siebe schützen. Von den beweglichen Sieben haben die Zylindersiebe den Nachteil, daß sie stark verschleißen und das Gewebe nicht selten reißt, den Vorteil, daß sie billig sind und wenig Kraft erfordern. Rätter sind Siebe mit ebener Siebfläche, die durch eine umlaufende Welle in schüttelnde, schaukelnde oder kreisende Bewegung versetzt werden. Bei dem Kreisrätter nach Seltner sind zwei Rätterkästen übereinander mit Sortierkästen und Rückführblechen angeordnet.

Abb. 73 zeigt einen Siebzylinder mit abnehmbaren Siebrahmen zum Sichten von trockenem Mehl und Grieß. Er besteht aus einem sechskantigen Eisengestell, das von hölzernen Siebrahmen umgeben und mit eisernen Armkreuzen auf einer Welle befestigt ist. Er ist in einem Kasten aus Eisenblech etwas geneigt gelagert und wird durch ein am

Kasten befestigtes Rädervorgelege angetrieben. Die Siebrahmen werden je nach der Feinheit und sonstigen Beschaffenheit des Sichtgutes mit Gewebe aus Stahldraht, Phosphorbronze oder Seide bespannt. Bei Sieben, die nur für eine Siebfeinheit eingerichtet sind, wird gewöhnlich am unteren Teil des Kastens eine Förderschnecke vorgesehen, die von der Siebwelle aus durch Riemenscheibe angetrieben wird und das abgesiebte Gut einer Austrittsöffnung zuführt, während der grobe Übergang am Ende des Kastens für sich ausgetragen wird. Um das Sichtgut in mehrere Feinheitsstufen zu sondern, werden Gewebe von verschiedener Maschenweite verwendet. In diesem Falle wird der Kasten unten mit

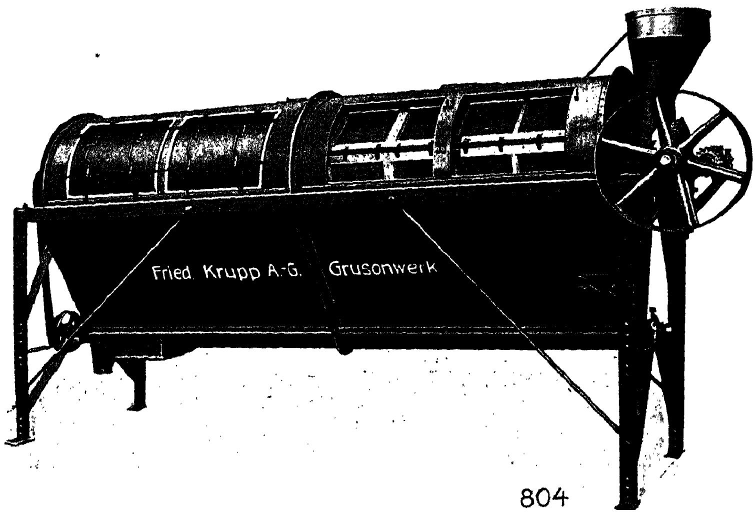


Abb. 73. Siebzylinder.

Sammeltrichtern ausgestattet; diese nehmen das Gut nach den Feinheitsgraden gesondert auf und werden auf Verlangen am Auslauf mit eisernem Sackstutzen und Schiebern versehen. Wenn das Sichtgut außergewöhnlich fein ist, so wird zweckmäßig eine Klopfvorrichtung angebracht. Bei einem Durchmesser von 80 cm und einer Länge von 3,5 m des Siebzylinders und 25 Umdrehungen in der Minute ist der Kraftbedarf etwa 0,6 PS. Ebenso wie die Siebe selbst lassen sich auch die zum Schutze von feinen Siebgeweben im Zylinder etwa angeordneten Vorsiebe (Siebrahmen mit weitmaschigem Gewebe) bequem auswechseln.

In Amerika, wo man jetzt mehr als früher auf die Siebanlagen achtet, bevorzugt man schwingende Siebe, die durch Exzenter geschüttelt oder auch elektrisch in Schwingungen versetzt werden. An

den Windsichter schließt man zum Sammeln des Staubes Röhren an, in denen periodisch die Luft umkehrt und geschüttelt wird; die Röhren sind in eiserne Gehäuse eingeschlossen.

Zerkleinern von Pech. Das als Bindemittel in der Elektrodenfabrikation verwendete Pech macht wegen seiner Bildsamkeit eigene Schwierigkeiten beim Zerkleinern. Gewöhnlich wird es zunächst in einem Walzenbrecher (meist mit einer einzigen Walze, die es gegen eine Wand zerdrückt) gebrochen und nur grob geschrotet; andere mahlen es in einer Pendelmühle bis auf etwa 3 mm Korngröße. Weil das gemahlene Pech bei längerem Aufbewahren wieder so fest zusammenbackt, daß es mit Beilpicken aufgebrochen werden muß, so pflegt man nur den Bedarf eines Tages vorrätig zu halten. Da der Pechstaub wegen seines hohen Gehaltes an flüchtigen Stoffen sich sehr leicht entzündet, so muß man beim Mahlen des Peches sehr vorsichtig sein. Auf dem schon früher erwähnten Aluminiumwerk Arvida in Kanada liegt der Pechspeicher weit abseits von den übrigen Fabrikgebäuden, um die unvermeidliche Gefahr von Explosion und Feuer möglichst einzuschränken. Auch die Mahlanlage ist in einem besonderen Flügel der Elektrodenfabrik untergebracht; hier wird das Pech in einer Glockenmühle gebrochen und dann zum Bunker im Mischhause gebrauchsfertig befördert.

Zerkleinern von Stummeln[1]. Beim Verbrauch der Kohlenanoden in den Aluminiumbädern bleibt ihr oberster Teil als dünne Platte übrig. Weil es sich hier um gewaltige Mengen von Resten aus wertvollem Stoff handelt, so werden diese Stummel zur Herstellung neuer Elektroden mitverwendet. Freilich sind sie wegen ihrer Härte schwer zu verarbeiten; außerdem sind sie durch Badschmelze und Metall verunreinigt. Zunächst zerkleinert man sie durch Backenbrecher, klaubt das Metall und die anderen Verunreinigungen heraus, schrotet in der Walzenmühle, führt dann durch einen Magnetscheider, um die beträchtlichen Mengen Eisen abzufangen, mahlt in der Rohrmühle, schickt durch ein Siebsystem und befördert schließlich zu einem besonderen Bunker im Mischhaus[2].

[1] Die beträchtlichen Stummel von rechteckigen Ofenelektroden werden gern zum Auskleiden des Herdes, z. B. der Karbidöfen, verwendet. Rundelektroden werden mittels Nippel angestückt und restlos aufgebraucht.

[2] In der Elektrodenfabrik der British Aluminium Co hat man seinerzeit versuchsweise den Aschengehalt der Stummel (und anderer Rohstoffe) durch Behandlung mit heißer Natronlauge und danach mit Säure verringert. Es gelang, ihn auf etwa ein Drittel zu vermindern (vorher 1,6% Asche, darin 0,46% SiO_2 und 0,26% Fe_2O_3; nachher 0,5% Asche mit 0,14% SiO_2 und 0,14% F_2O_3). Diese chemische Reinigung ist aber teuer.

Fünftes Kapitel.

Mischen und Kneten.

Allgemeines. Auf die Vorbereitung der Rohstoffe durch Zerkleinern folgt das Mischen. Es gilt, die aus ihren Bunkern entnommenen einzelnen Bestandteile im richtigen Verhältnis innig zu mischen und die richtige Menge des Bindemittels hinzuzufügen. Abgesehen davon, daß die besten Vorschriften Fabrikgeheimnis sind, lassen sich auch aus sachlichen Gründen keine bestimmten Zahlen für die Mischungsverhältnisse angeben, weil nämlich die Beschaffenheit der Rohstoffe in mehr oder weniger weiten Grenzen schwankt. Auch die Körnung spielt eine bedeutsame Rolle. Je stärker die Elektrode später beansprucht wird, um so gröber soll nach meiner Meinung ihr Gefüge sein, damit sie genügende Fügsamkeit besitzt und nicht bei schroffen Temperaturänderungen zerspringt. Die Blockelektroden für die Aluminiumbäder, welche nur aus Petrolkoks und dem beim Brennen verkokten Pech bestehen, haben ein feines Gefüge[1]. Bei den Elektroden für Chloralkali-Elektrolyse, welche nach dem Brennen noch graphitiert werden, scheint mir hingegen ein allzufeines Korn die chemische Widerstandsfähigkeit zu schwächen; den geschickten Zusatz des schwer graphitierbaren Anthrazits in geeigneter kleiner Körnung schätze ich hier als günstig für die erforderliche gleichmäßige Abnutzung. Die Mischungen für Lichtkohlen, für Kohlenbürsten und auch für die kleinen Kohlenstifte der Elemente müssen jeweils der betreffenden Verwendung genau angepaßt sein, worüber später in den betreffenden Kapiteln einiges gesagt werden soll.

Obwohl man auf eine möglichst geringe Porosität der fertigen Elektrode manchmal ein allzu hohes Gewicht legt, so soll man doch im allgemeinen beim Mischen dafür sorgen, daß die Räume zwischen den größeren Körnern durch die kleinen Teilchen ausgefüllt werden. Am genauesten arbeitet man, indem man die zerkleinerten Kohlen nach Korngrößen sondert, sie getrennt aufbewahrt und die verschiedenen Körnungen nach Bedarf mischt. Einfacher ist das von den Amerikanern

---

[1] Für Anoden der Aluminiumbäder empfahl W. Clacher (Electr. Rev., Lond. 20. Januar 1911) ein Gemisch von 5 Körnungen, und zwar feinstes Pulver, das durch ein 100 Maschen-Sieb (100 Maschen auf 1 engl. Zoll) geht, 40%, durch 60 Maschen-Sieb 15%, durch 30 Maschen-Sieb 20%, durch 16 Maschen-Sieb 15% und zwischen 16 und 8 Maschen-Sieb 10%. Dem 8 Maschen-Sieb entspricht eine lichte Weite der Maschen von 2,38 mm. Als Bindemittel werden 22% von mittelhartem Pech zugesetzt, das bei raschem Glühen 50%, bei langsamem 40% verliert. Eine ältere deutsche Vorschrift für Anoden lautet: Petrolkoks 400 kg, Pechkoks 300 kg, Elektrodenreste 150 kg, Ruß 90 kg, Pech 100 kg, Teer 130 kg. Für Karbidelektroden hat man z. B. gemischt: Anthrazit 600 kg, Retortenkohle 150 kg, Schmelzkoks 400 kg, Ruß 2 kg, Pech 45 kg, Teer 40 kg.

bevorzugte Verfahren, in der Mühle so zu mahlen, daß ungefähr die richtige Mischung von Feinem und Grobem herauskommt. Weil die meisten Elektrodensorten zum mindesten aus zwei Bestandteilen hergestellt werden, genügt es auch, wie schon oben angedeutet, den einen feiner zu mahlen als den andern und dann im passenden Verhältnis zu mischen.

Was das Bindemittel anlangt, so ist für seine Auswahl und die benötigte Menge die Körnung und die Porosität der Kohle, außerdem die Jahreszeit, in der man arbeitet, wesentlich. Weil die Bildsamkeit der noch ungebrannten „grünen" Elektrode von der Temperatur stark abhängt, so muß man in der Sommerhitze das Bindemittel sparsamer bemessen und es härter wählen als im Winter, damit die gepreßte Elektrode nach dem Abkühlen genügend starr ist und sich nicht vor dem Brennen verbiegt. Je schwerer die Elektrode ist, um so größer ist die Gefahr, daß sie inzwischen ihre genaue Form verliert. Im allgemeinen läßt sich sagen: man soll nur soviel Bindemittel hinzugeben, daß sich die Masse aus dem Mundstück der Strangpresse unter dem richtigen Drucke gut ausstoßen läßt, ohne Risse zu bekommen oder abzubröckeln. Für das Pressen in der Blockpresse darf die Masse steifer sein, ebenso für das Stampfen nach dem Verfahren von Siemens. Beim Mischen mit dem Bindemittel soll sich jedes Kohleteilchen mit einer dünnen Haut überziehen, welche die benachbarten Teilchen zusammenklebt. Ein erfahrener Fachmann weiß nach dem Augenschein und dem Gefühl die richtige Mischung sehr genau zu schätzen; er greift in die Mischung, knetet sie in der Hand und kann dann sofort sagen, ob die richtige Bindung vorhanden ist. Je feiner das Kohlenpulver ist und je poröser die Körnchen sind, um so mehr Bindemittel verschlucken sie; andererseits wird um so mehr vom Bindemittel verschluckt, je dünnflüssiger es ist, was man durch Auswahl und Verschneiden des Peches weitgehend beeinflussen kann. Außerdem hat man ja die Temperatur des Pressens in der Gewalt, um die Bildsamkeit der Masse nach Bedarf zu regeln. Die Herstellung guter Mischungen bedarf großer Erfahrung und dauernder Überwachung.

Das Wesen des Mischens. Wer einmal eine gleichmäßige Mischung zweier fester Stoffe herzustellen hatte, weiß, daß gutes Mischen gar nicht so einfach ist, zumal wenn die zu mischenden Stoffe sehr verschiedene Körnung und sehr verschiedenes Gewicht haben[1]. Es lohnt sich, mit H. Fischer[2] die Vorgänge beim Mischen genauer zu betrachten. Wenn

[1] Wenn von zwei Bestandteilen der eine in der Mischung nur in kleinem Verhältnis vorhanden sein soll, so empfiehlt es sich, zu seiner ganzen Menge nach und nach unter stetem Mischen den anderen Stoff zuzusetzen.

[2] Fischer, H.: Mischen, Rühren, Kneten und die dazu verwendeten Maschinen. Leipzig 1911.

man z. B. mit einer Schaufel einen flachen Kokshaufen durchrührt, so folgt wegen der Reibung an der Unterlage die Kohle nicht gleichmäßig; die Brocken bäumen sich auf, überstürzen sich und werden zum Teil weitergeschoben, bewegen sich aber dabei mit verschiedener Geschwindigkeit. Mehrere schräg gestellte Schaufeln häufeln das Arbeitsgut in Streifen. Während dieses Umschaufeln für gutes Mischen trockener Gemenge geeignet ist, wird für teigige Gemenge nach dem Vorbilde der Brotbereitung das Kneten angewendet. Wenn man eine Stelle des Teiges preßt, so weicht er nach den Seiten aus, und zwar je nach der Heftigkeit des Druckes rascher oder langsamer; auch hierbei gleiten die Teilchen aneinander vorbei und schieben sich durcheinander. Dieses Kneten wird zu einem stetigen Vorgang verbessert, wenn man das zu mischende Gut durch den Spalt zwischen zwei Walzen zwängt, welche sich entgegengesetzt bewegen. Je kleiner der Spalt, um so größer ist die Geschwindigkeit des Gutes in ihm; oberhalb und unterhalb des Spaltes bewegt sich wegen des größeren Querschnittes die Masse langsamer; andererseits ist unmittelbar an den Walzen die Geschwindigkeit wegen der mitnehmenden Reibung etwa ebenso groß wie die Umfangsgeschwindigkeit der Walze. Aus diesen Gründen gleiten die äußeren Teilchen schneller an den langsameren Teilchen im Innern der Masse vorbei. Beim Zusammenpressen zwischen den Walzen können im Strange Risse auftreten, indem das Gut teils nach oben, teils nach unten abgedrängt wird. Alle diese Vorgänge sind dem Durchmischen günstig. Wenn die eine Walze sich langsamer dreht als die andere, so treten noch verwickeltere Verschiebungen ein, welche das Mischen beschleunigen. Besonders gut wirken unrunde Walzen oder gar solche, welche nach Art einer Verzahnung ineinander greifen und das Gut gewissermaßen durcheinander wirbeln.

Mischtrommeln. Um feste trockene Stoffe zu mischen, bietet sich als einfaches und billiges Gerät die Trommel, welche mit passender Geschwindigkeit gedreht wird. Ihre Innenwand muß aber uneben sein, damit das Gut nicht herabgleitet, bevor es über seinen Böschungswinkel hinausgehoben ist. Die Trommel soll sich so rasch drehen, daß die gehobenen Teile im Wurfbogen abstürzen; bei zu rascher Drehung würden sie durch die Fliehkraft an der Wand festgeheftet werden. Als die günstigste Umdrehungszahl wurde für einen Trommeldurchmesser D gefunden

$$n = \frac{32 \text{ bis } 35}{\sqrt{D}}$$

Damit sich das Mischgut nicht nur in der Kreisebene bewegt, wird die Drehachse etwas geneigt oder noch besser in der Diagonale gelagert, so daß bei der Drehung das Gut bald nach rechts, bald nach links geworfen wird. Auch für bequemes und vollständiges Entleeren der Trommel soll gesorgt sein.

Die Mischtrommel von Mühlau, welche Abb. 74 im Schnitt schematisch zeigt, trägt auf ihrer Innenwand schaufelartige Leisten *b*; zum Entleeren dient die Förderschnecke *s*, welche sich in der Mittelachse der Trommel dreht und von dem offenen Trog bis über den Ausgang der Trommel hinaus umgeben ist. Die Schaufeln werfen die fertige Mischung in den Trog, und die Schraube schiebt sie hinaus. Danach wird für das Beschicken der Trog mit seiner Öffnung nach unten gekehrt.

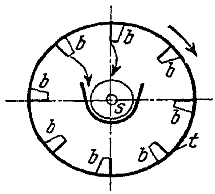


Abb. 74. Mischtrommel von Mühlau.

Bei der Mischmaschine „Farbwerke Höchst" (Abb. 75) liegen auf der Innenwand Schneckengänge *t*, die an der rechten Stirnwand *h* in Taschen *g* endigen. Der Richtung der Schnecken entgegengesetzt sind die schrägen Leisten der Sturzbleche *c*. Durch den Trichter *e* wird die Trommel mittels der Förderschnecke *s* zur Hälfte gefüllt. Beim Drehen der Trommel schaffen die Schneckengänge an der Wand das Mischgut nach rechts, die Sturzbleche dagegen werfen einen anderen Teil nach links. Sehr bald ist genügend durchgemischt, so daß die Transportschnecke auf Austragen umgestellt werden kann. Das fertige Gut tritt durch den Stutzen *a* aus.

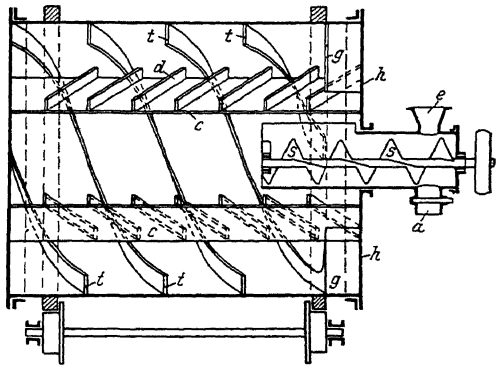


Abb. 75. Mischmaschine „Farbwerke Höchst".

Wenn man die Trommel sich nach einem oder beiden Enden kegelförmig verjüngen läßt, so wird ihr Raum besser zum Mischen ausgenutzt. Anbringen von Windschaufeln oder Einbringen von Stahlkugeln (wie bei der Kugelmühle) beschleunigt das Mischen.

Ununterbrochen kann man arbeiten, indem man z. B. das Mischen durch eine Mischschnecke besorgen läßt, vor der eine Zuteilvorrichtung liegt. Die sich im engen Gehäuse drehende Mischschnecke eignet sich aber nicht für grobkörnige Stoffe, weil sich größere Körner leicht zwischen Rinne und Schnecke klemmen, sie anhalten und sogar beschädigen, wenn sie hart sind.

Das Arbeiten mit der Mischtrommel erfordert verhältnismäßig viel Kraftaufwand, weil jedesmal das ganze Gut gehoben werden muß. In dieser Hinsicht sind Mischer mit ruhender Trommel und sich drehenden Mischwerkzeugen günstiger; sie eignen sich gleichzeitig zum Mischen

feuchter und teigartiger Massen, sind Universal-Misch- und Knetmaschinen.

Knetmaschinen. Vorbildlich sind die von P. Pfleiderer (DRP. 10164) erfundenen Knetvorrichtungen. Das Hauptmerkmal der von Werner und Pfleiderer in Cannstatt-Stuttgart gebauten Misch- und Knetmaschinen sind zwei Flügel von besonderer Gestalt, die sich in zwei Halbzylindern bewegen, welche den unteren Teil des Mischtroges bilden (Abb. 76). Weil die wirksamen Flügel gegeneinander um 180° versetzt sind, so wird das Mischgut auch längs der Achse verschoben. Das dem einen Flügel ausweichende Gut gelangt zum Teil in den benachbarten Hohlraum und wird bald wieder zurückgedrängt. Die Flügel arbeiten mit verschiedener Geschwindigkeit, der eine z. B. über doppelt so rasch wie der andere. Je nach der besonderen Art des zu mischenden Gutes

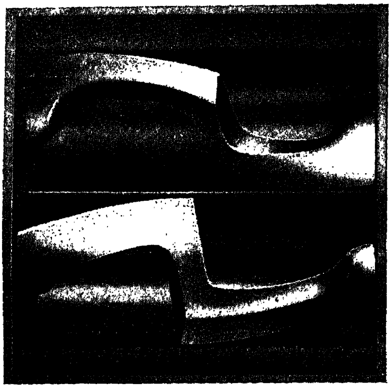


Abb. 76. Flügel der Misch- und Knetmaschine von Werner und Pfleiderer.

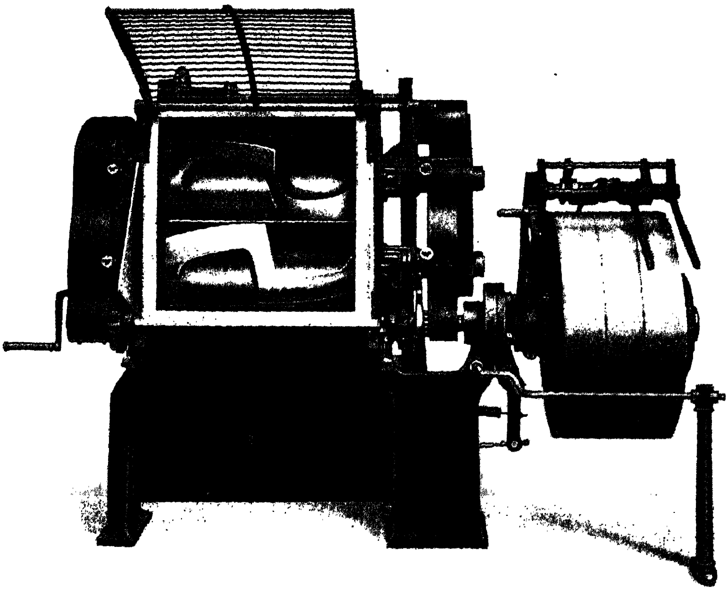


Abb. 77. Misch- und Knetmaschine.

werden die Schaufelform und die Geschwindigkeit verschieden gewählt. Abb. 77 zeigt eine solche Mischmaschine mit etwa 200 Liter Inhalt in gekippter Stellung mit geöffnetem Deckel, Abb. 78 eine große Maschine von etwa 2000 Liter Inhalt. Der Mischtrog besteht aus Gußeisen, die Mischflügel sind aus bestem Stahlguß gefertigt. Die beiden Mischflügel werden durch beiderseits des Troges angeordnete kräftige Stirnräder angetrieben, sie streifen den Boden und die Seitenwände des Mischtroges dicht ab, arbeiten sich gegenseitig das Material zu, kneten es dabei

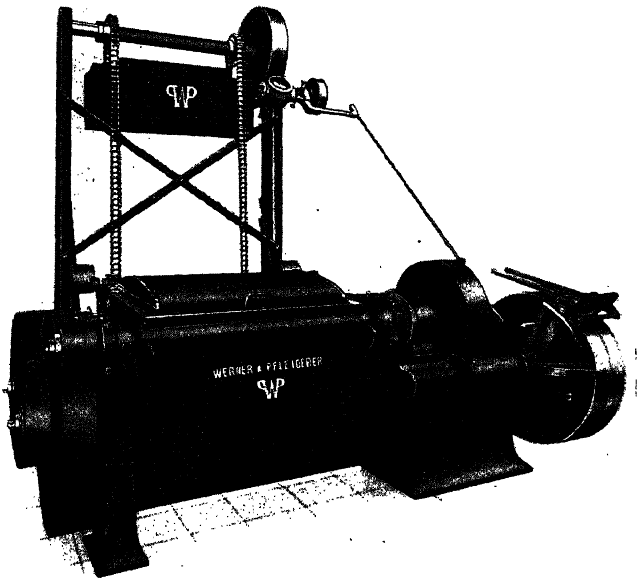


Abb. 78. Große Misch- und Knetmaschine.

kräftig durch, zerteilen es über dem Trogsattel und sorgen auf diese Weise dafür, daß sich die einzelnen Bestandteile der Mischung innig verbinden. Zum Schutz gegen die schmirgelnde Wirkung der Kohlenteilchen ist der Innenseite des Troges und den Mischflügeln die rohe Gußhaut belassen und auf die Flügel kräftiges Stahlblech auswechselbar aufgelegt (Abb. 79); auch das Innere des Troges kann durch eine auswechselbare Einlage aus Stahlguß geschützt werden. Zum Beheizen des Mischgutes mit Frischdampf bis zu etwa 6 Atmosphären wird der Mischtrog mit einem angegossenen Doppelmantel versehen. Das die Maschine antreibende Dreischeibenwendegetriebe gestattet, durch Umstellen eines Hebels die Mischflügel sowohl gegeneinander als auseinander arbeiten zu lassen oder sie abzustellen. Der Vollblechdeckel,

welcher den Mischtrog oben abschließt, ist mit dem Antrieb der Maschine zwangsläufig derart verbunden, daß der Deckel nur bei stillstehender Maschine geöffnet und die Maschine bei geöffnetem Deckel nicht in Gang gesetzt werden kann. Die Deckelsperrung gestattet aber, in der gekippten Stellung den Deckel so weit zu öffnen, daß die fertig gearbeitete Masse austreten kann. Die sinnreiche Deckelsperrung gestattet auch, die Maschine in Kippstellung links und rechts herum laufen zu lassen, wodurch sich die Trommel selbsttätig entleert. Erst nach Abschalten

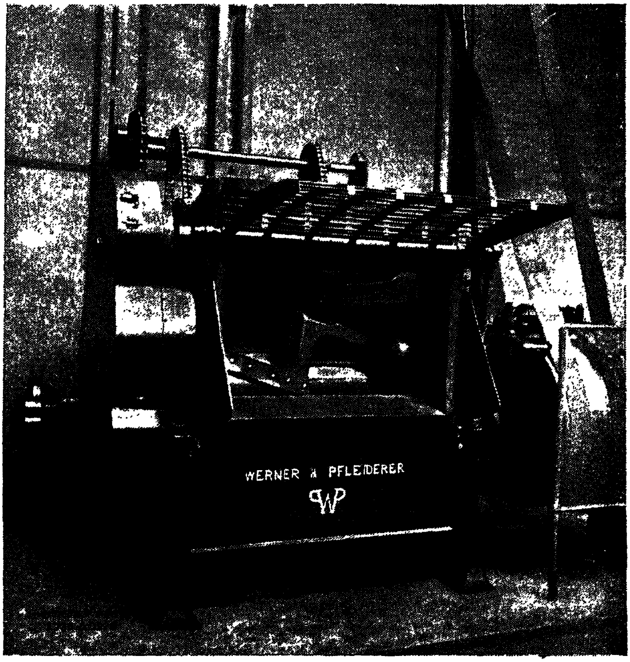


Abb. 79. Misch- und Knetmaschine mit gepanzerten Flügeln.

des Triebwerkes läßt sich der Deckel völlig öffnen. Hierdurch wird den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften genügt. Das Dreischeibenwendegetriebe besteht aus drei auf der Antriebswelle nebeneinander angeordneten Scheiben, einer mittleren Festscheibe und zwei äußeren Losscheiben. Über die beiden Losscheiben läuft je ein offener und ein geschränkter Riemen. Je nachdem nun mit der Riemengabel und der beweglichen Riemenleittrommel der offene oder der geschränkt laufende Riemen auf die Festscheibe geleitet wird, drehen sich die Mischflügel gegeneinander oder auseinander.

Auswalzen der Mischung. Die von der Mischmaschine gelieferte mürbe Mischung wird durch Kneten in einem Kollergang oder in

einem Knetwalzenstuhl bildsam gemacht. Für diese Verwendung müssen die Walzen mit Abstreifern versehen werden, Messern, die von den Walzen das anklebende Gut abschälen und es herunterfallen lassen. Auch hier ist es notwendig, die Arbeiter durch Schutzvorrichtungen vor Unfällen zu bewahren. Der Knetwalzenstuhl (Abb. 80) besitzt hochpolierte Hartgußwalzen, welche mit ungleicher Geschwindigkeit umlaufen. Noch besser wird die Masse in einem Knetwalzenstuhl mit zwei übereinander liegenden Walzen (Abb. 81) durchgearbeitet. Abb. 82 läßt in einer älteren Anlage ein Anzahl offener Kollergänge sehen, in denen der von den Mischern gelieferte Teig für die Stampfpresse vorbereitet

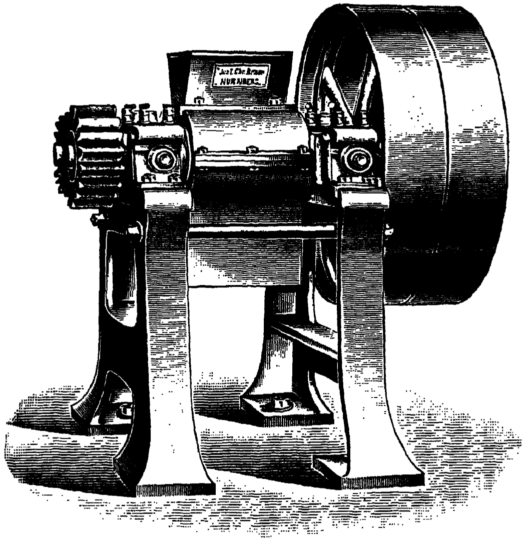


Abb. 80. Knetwalzenstuhl mit einem Walzenpaar.

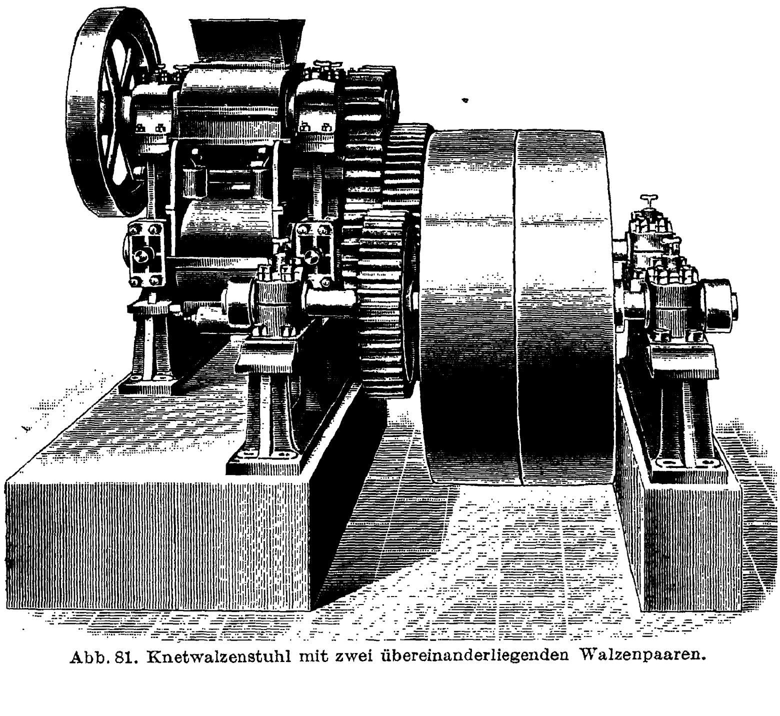


Abb. 81. Knetwalzenstuhl mit zwei übereinanderliegenden Walzenpaaren.

wird. Für grobkörnige Mischungen eignet sich dies Auswalzen nicht, weil die Körner zum Teil zertrümmert würden.

Abmessen der Bestandteile. Auf dem Wege vom Vorratsbunker zur Mischmaschine werden die einzelnen Bestandteile bei den großen Anlagen selbsttätig abgewogen. Sobald aus dem Bunker die bestimmte Gewichtsmenge in den darunter stehenden Kasten entleert ist, wird durch das Ausschlagen eines Waagebalkens der weitere Zugang abgesperrt. Durch ein auf der Balkenteilung verschiebbares Laufgewicht läßt sich die

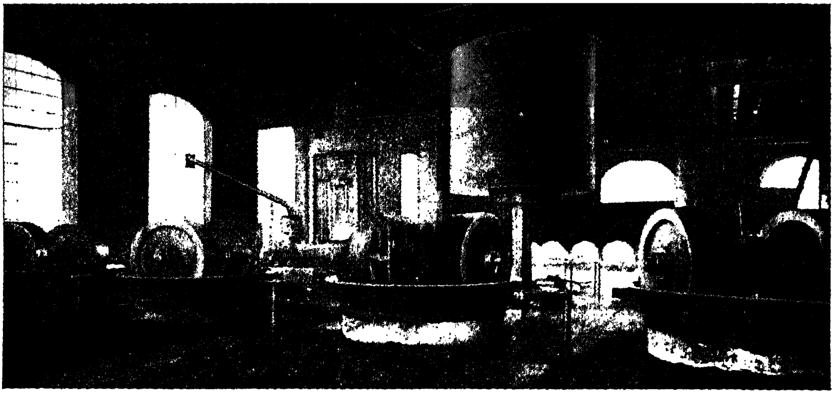


Abb. 82. Offene Kollergänge.

gewünschte Gewichtsmenge genau einstellen. Flüssige Bestandteile, wie Teer, werden gewöhnlich nicht eingewogen, sondern abgemessen, zweckmäßig nachdem man den Teer durch Erhitzen dünnflüssiger gemacht hat. Geschmolzenes Weichpech und Teer läßt man gewöhnlich erst während des Mischens zufließen. Mischungen mit Pech muß man bald verarbeiten, weil sie sich beim Stehen allmählich wieder entmischen.

Sechstes Kapitel.

Stampfen und Pressen.

Aus der sorgfältig bereiteten Mischung werden die Elektroden geformt, und zwar entweder in eine Form gestampft (siehe S. 11) oder in eine Form gepreßt (Blockpresse) oder sie werden aus einem Mundstück von geeignetem Querschnitt ausgestoßen (Strangpresse) und auf passende Länge abgeschnitten. Die kurzen dicken Elektroden für die Aluminiumbäder werden in Blockpressen hergestellt. Die Kohlen für Chloralkali-Elektrolyse und ähnliche Zwecke werden ausschließlich mit der Strangpresse erzeugt, welche sich überhaupt besonders dafür eignet, kleine

Elektroden von einer einzigen Sorte in großen Mengen herzustellen, weil das Ausstoßen hier weniger Zeit und Arbeit erfordert als das Pressen.

Vorstampfen. Bevor die durchgeknetete Mischung in der Presse geformt wird, ballt man sie zweckmäßig noch durch Stampfen oder

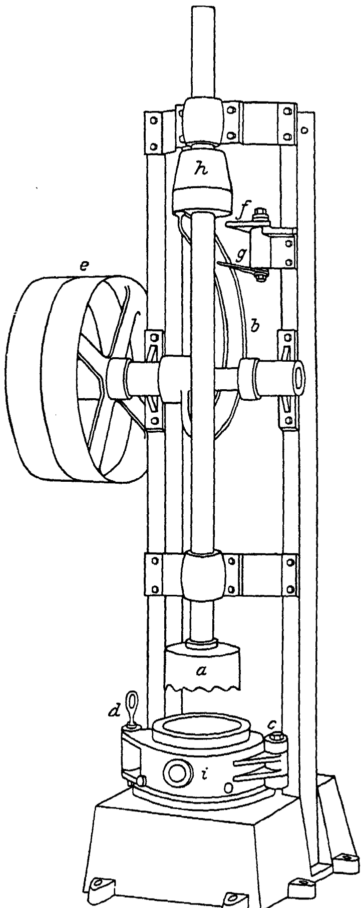


Abb. 83. Vorstampfwerk.

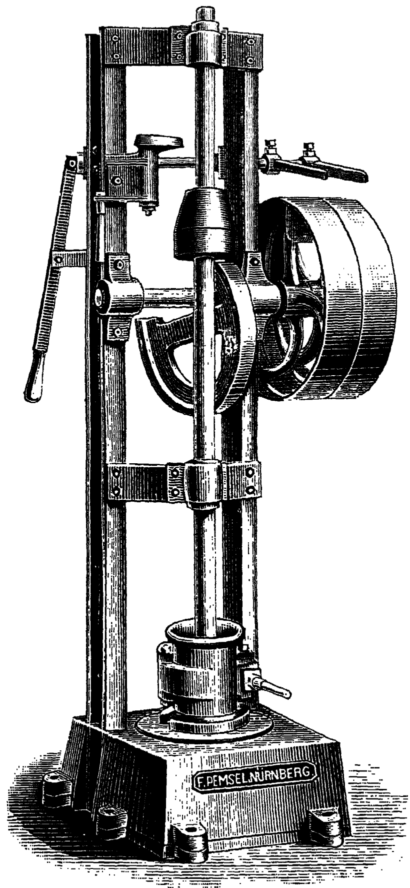


Abb. 84. Vorstampfwerk.

Pressen zusammen, um die in der Masse eingeschlossenen beträchtlichen Luftmengen, welche nachher beim Brennen Risse verschulden könnten, nach Möglichkeit zu entfernen. Abb. 83 zeigt ein Nürnberger Vorstampfwerk mit zweiteiligem Stampfzylinder. Ähnlich wie bei einer Ramme wird ein schwerer Stempel *a* angehoben und dann fallen gelassen, damit er durch seine Wucht die Masse in der Form *i* zusammenpreßt. Auf

den Schaft des Stempels ist zu diesem Zwecke der Wulst *h* aufgekeilt. Unter diesen Wulst greift ein Exzenter, hier ein langer gebogener Arm *b*, welcher durch die vom Schwungrad *e* betriebene Welle gedreht wird; so wird der Stempel gehoben und wieder fallen gelassen. Um den Stempel in seiner höchsten Stellung festzuhalten, dreht man den Arm *f* mittels des Hebels *g* so, daß er unter *h* greift. Die zweiteilige Form *i* kann, nachdem der Bolzen *d* entfernt ist, auseinandergenommen werden. Abb. 84 zeigt dies Vorstampfwerk von der anderen Seite.

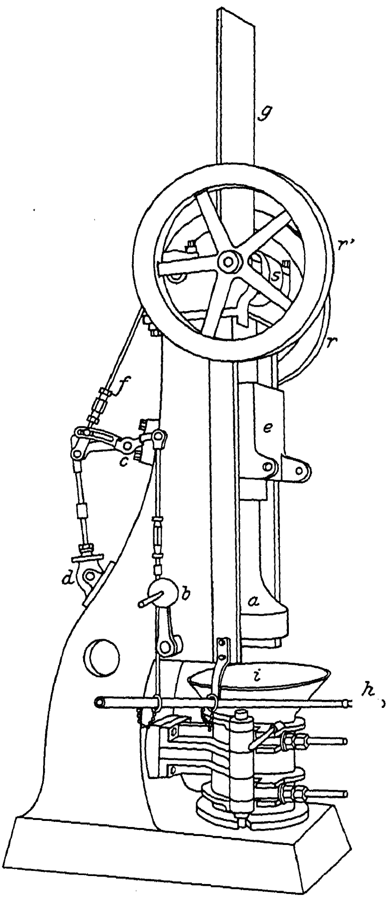


Abb. 85. Reibungs-Stampfwerk.

Ruhiger als diese durch Exzenter gehobene Ramme arbeiten Reibungsstampfwerke; sie eignen sich besonders, um höhere Ballen zu stampfen. In Abb. 85 wird die den Stempel *a* tragende Schiene *g* durch die Reibung zwischen zwei Rollen *s* (nur die vordere ist zu sehen) gehalten, welche jede mit einem Schwungrade *r* verbunden sind. Die hintere Reibungsrolle sitzt auf einer lose gelagerten Welle und wird durch einen Exzenter gegen die Schiene *g* gepreßt, wenn der Hebel *h* niedergedrückt ist. Beim Senken des Hebels neigt sich nämlich das Gewicht *b* nach rechts, der linke Arm des Kniehebels mit dem Drehpunkt *c* geht in die Höhe, die Stange *f* wird gehoben und preßt den Exzenter gegen die Gleitschiene *g*. Gleichzeitig wird in der Luftbremse *d* die Luft zusammengepreßt, welche beim Umschalten das Gestänge wieder abwärts zieht. In die zweiteilige Form *i* wird die Mischung durch den Trichter nach und nach eingetragen. Abb. 86 zeigt ebenfalls dieses Friktionsstampfwerk, welches mit 120 Umdrehungen in der Minute betrieben wird, 3—4 PS verbraucht und Ballen bis 70 cm Durchmesser und 75 cm Höhe liefert.

Stampfverfahren von Siemens. Bei dem Siemensschen Verfahren der Elektrodenherstellung wird durch Stampfen die Masse nicht nur verdichtet, sondern gleich in die richtige Form gebracht. Indem der Stempel außer seiner senkrechten Bewegung auch seitlich verschoben wird, preßt er die nach und nach zugegebene Mischung Schritt für Schritt in die Form, welche eine Tiefe von 2 m und mehr besitzen darf.

Ob die Masse grobe Körner enthält oder feinpulverig ist, spielt hierbei keine Rolle. Ein besonderer Vorzug dieses Verfahrens liegt darin, daß Ofenelektroden, welche Hohlkehlen, Löcher und dergleichen im Kopf besitzen sollen, ohne weiteres gestampft werden können, indem man passende Kerne in die Form einsetzt, während an Elektroden, die mit der Strangpresse hergestellt sind, solche Köpfe nachträglich herausgearbeitet werden müssen. Die gestampften Elektroden sind ebenso gut und ebenso dicht wie die gespritzten Elektroden. Deshalb wird nach der Vereinigung von Plania mit Gebrüder Siemens das Stampfverfahren jetzt auch auf dem Planiawerk in Ratibor neben dem Spritzverfahren angewendet, um die gewaltigen Elektroden für die heutigen elektrischen Öfen zu liefern.

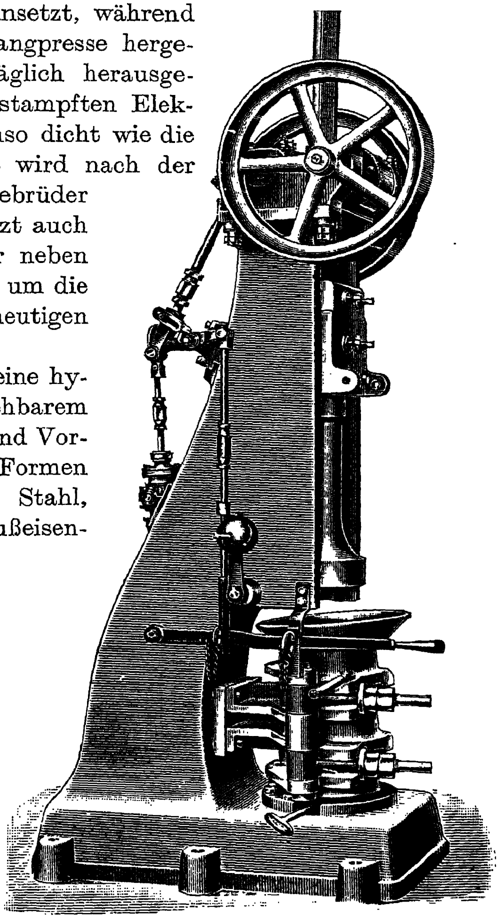


Abb. 86. Reibungsstampfwerk.

Blockpressen. Abb. 87 zeigt eine hydraulische Plungerpresse mit drehbarem Preßtisch für zwei Preßformen und Vorrichtung zum Ausstoßen. Die Formen der Blockpressen bestehen aus Stahl, manchmal auch aus schwerer Gußeisenkonstruktion; sie müssen hohen Druck aushalten. Die warme Mischung wird in die Form so dicht als möglich eingebracht, und zwar so viel von ihr, daß auch nach dem Pressen die Form gefüllt ist. Es werden angeblich Drucke bis zu 1750 kg/cm² angewendet, und zwar soll gleichzeitig von oben und unten gepreßt werden[1]. Die Massen für die Blockpresse werden von den Amerikanern in der Regel mit Pech gebunden. Der Block wird

[1] In sehr zähen Massen (wie auch in Pulvern) pflanzt sich der Druck nur langsam fort, so daß die Mitte des Preßlings nur ungenügend verdichtet wird, wenn die Masse nicht bildsam genug oder der Druck zu gering ist oder zu kurze Zeit wirkt. — In dem Werke Kinlochleven der British Aluminium Co wurde die mit 90° aus der Mischmaschine entnommene Mischung in die Preßform geschaufelt und einem bis 140 kg/cm² ansteigenden Druck unterworfen. Die alte Presse lieferte stündlich bis 40 Blöcke von 25 × 25 cm Querschnitt und 30 cm Höhe mit abgeschrägten Ecken. Sie brauchten einen Tag zum Erhärten.

aus der Form entfernt, sobald er kalt genug ist, um seine Gestalt zu behalten; dann wird die überschüssige Masse entfernt, die Form gereinigt und für die nächste Pressung geschmiert. Bei großen Blockpressen sind bis zu 4 Formen auf dem Drehtisch angeordnet. Füllen, Pressen und Entleeren geht selbsttätig vor sich. Das Füllen wird

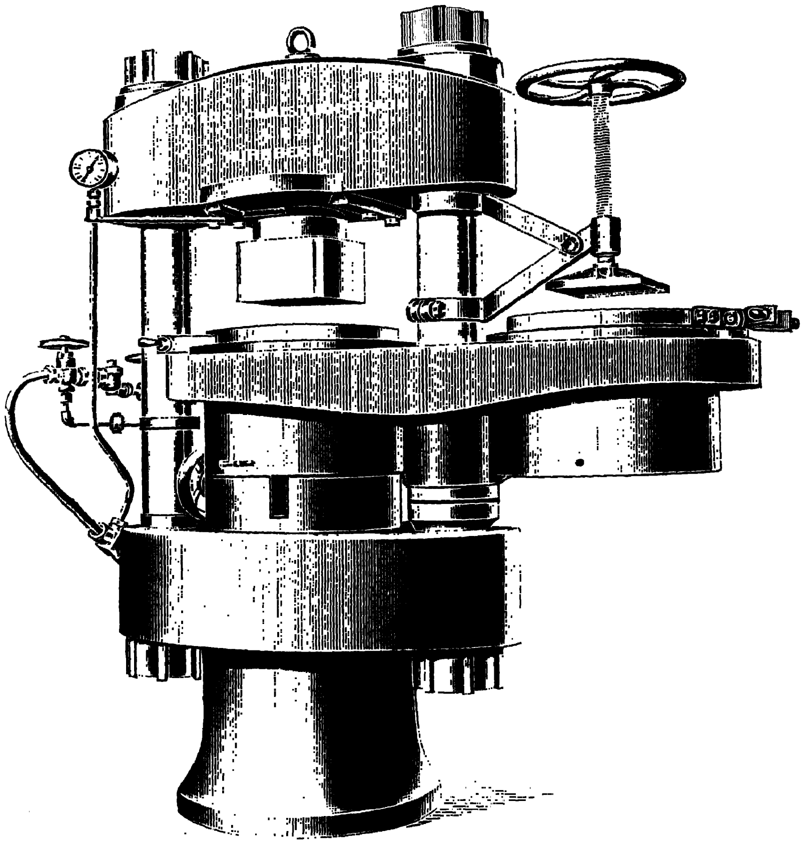


Abb. 87. Hydraulische Plungerpresse mit drehbarem Preßtisch.

beendet, indem die Formen um 90° weiter gedreht werden. Nach einer erneuten Drehung um 90° werden die geformten Blöcke durch einen Arm ausgedrückt, welcher zwangsläufig mit dem Preßstempel zusammen arbeitet. Abb. 88 zeigt eine große Blockpresse mit Drehtisch der Planiawerke.

Vorpressen. Bevor die Mischung der Strangpresse zugeführt wird, muß sie in der Vorpresse verdichtet werden. Die Vorpressen sind ganz

ähnlich wie die Blockpressen gebaut, werden aber mit viel geringerem Druck, etwa 60—150 kg/cm², betrieben. Auch die neueren Vorpressen haben einen drehbaren Tisch, mit welchem die Preßformen fest verbunden sind; von den drei Formen wird gleichzeitig die eine gefüllt, in der andern gepreßt, die dritte entleert. Die Preßlinge haben Walzenform von solchem Durchmesser und solcher Länge, daß sie in die Kammer der Strangpresse hineinpassen. Sie werden so hoch als möglich gemacht, aber nur

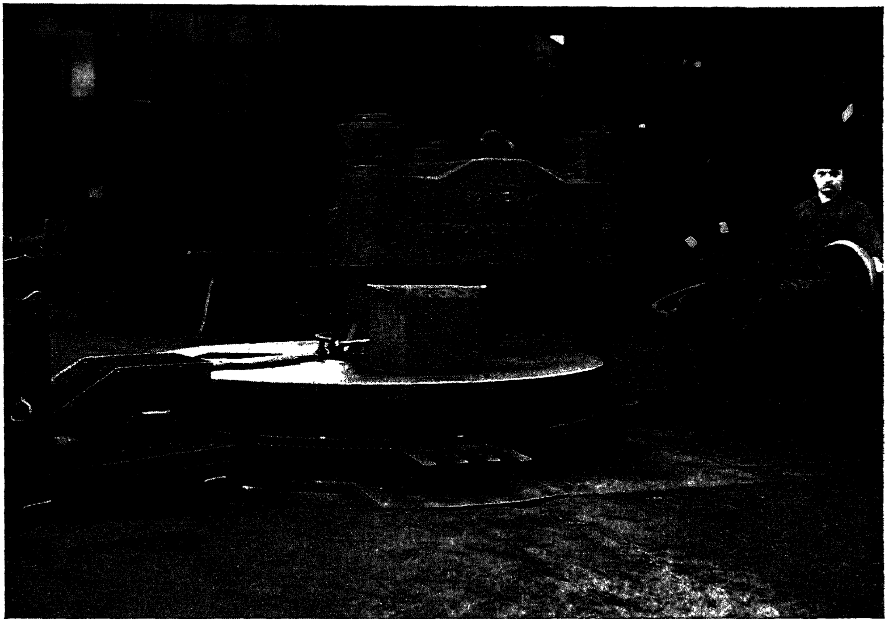


Abb. 88. Große Blockpresse mit Drehtisch.

so schwer, daß man sie noch bequem handhaben kann. Durch das Vorpressen sollen auch aus der Mischung eingeschlossene Luft und andere Gase entfernt werden. In Abb. 89 sind vorn ein etwa 1200 kg wiegender Preßling und hinten die Stampfpresse zu sehen.

Strangpresse. Das Wesen der Strangpresse läßt sich aus Abb. 90 ersehen. In dem starkwandigen gußeisernen Zylinder *a* wird der Kolben *k* durch Wasserdruck aufwärts getrieben. Damit schon in der tiefsten Stellung des Kolbens das Wasser Platz im Zylinder findet, trägt der Kolben unten einen Zapfen *z*, welcher den Raum *h* frei hält. Die Ledermanschette *r* und am Kopf des Kolbens der Bronzering *c* dichten den Kolben gegen die Wandung ab. Der dreieckige Oberteil *d* des Zylinders *a* trägt auf drei starken stählernen Säulen *w* den ebenfalls dreieckigen

Kopf d', der mit den Muttern m festgeschraubt ist. Der Stahlzylinder e (der Ladezylinder), welcher den vorgepreßten Ballen (die Patrone) aufnimmt, trägt oben das Mundstück m und ist unter ihm vom Heizmantel f umgeben. Das auswechselbare Mundstück n besteht aus bestem Stahl; es wird durch Bajonettverschluß in der Platte d' gehalten, indem 3 Ringabschnitte p des Mundstückes (Abb. 91) beim Drehen um 60° in entsprechende Aussparungen der Platte d' eingreifen und sich mit ihren schrägen Wänden fest hineindrücken. Zuvor ist in den Ladezylinder e die Patrone eingesetzt worden. Sobald das Druckwasser in

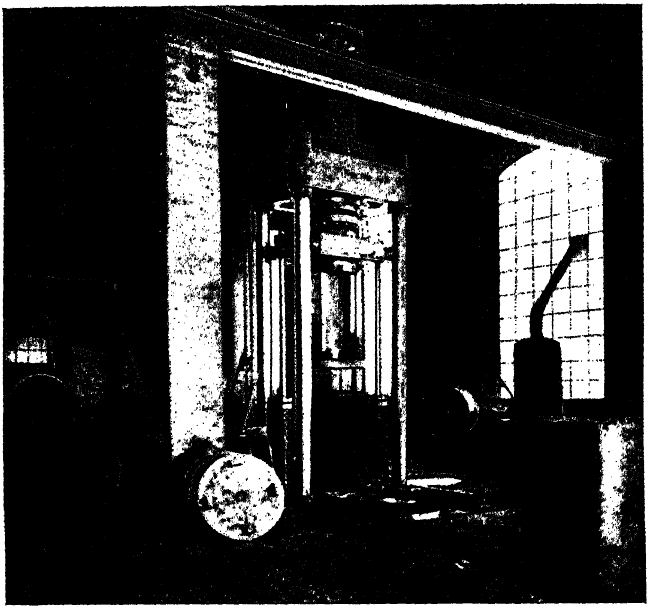


Abb. 89. Stampfpresse und Preßling.

den Zylinder a bei b eintritt, hebt sich der Kolben k und preßt die Masse aus dem Mundstück als Strang heraus. Danach wird das Druckwasserventil umgestellt und das Wasser kann aus der Presse austreten.

Die aus der Vorpresse kommenden Massezylinder werden noch heiß in die mit einem Dampfmantel umgebene Ladekammer der Strangpresse eingebracht. Der Querschnitt der gespritzten Elektrode ist durch die Gestalt des Mundstückes gegeben; die Länge der Elektrode ist durch das Fassungsvermögen der Ladekammer begrenzt.

Sehr wesentlich ist die Gestalt der Kurve, nach welcher sich das Mundstück verjüngt. Die bildsame Masse soll mit stetig zunehmendem Druck, ohne zu reißen, herausgestoßen werden. Es hat großer Erfahrungen bedurft, bevor man für jede Masse und jeden Querschnitt die

beste Form des Mundstückes fand. Die Innenwand des Mundstückes soll spiegelnd glatt sein, damit nicht die Masse an rauhen Stellen haftet, sondern sich gleichmäßig weiter schiebt. Ein Zusatz von Lampenruß zur Mischung erleichtert das Ausstoßen. Weil nachher beim Brennen die Kohle sintert, so ist für die Ausmaße des Mundstückes das Schwindmaß der betreffenden Kohlenmasse genau in Rechnung zu setzen[1]. Mundstücke, wie auch Dorne, müssen aus bestem Stahl gefertigt werden, weil sie durch die schleifende Wirkung der Kohle sich sonst allzu rasch abnützen würden.

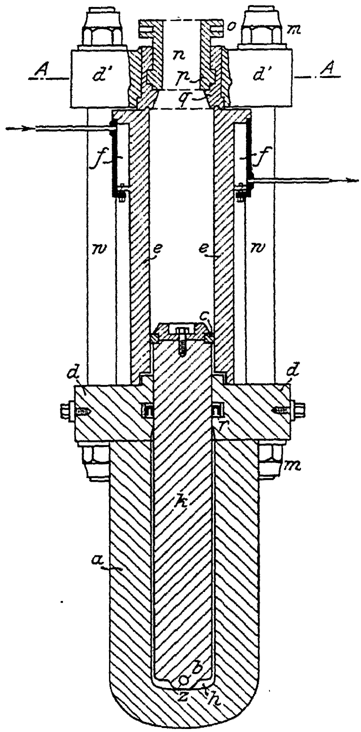


Abb. 90. Strangpresse.

Abb. 92 stellt eine kleine waagerechte Strangpresse für Kohlenstifte im Längsschnitt und im Querschnitt dar; bei ihr, die seinerzeit von C. Dengg & Co. in Wien gebaut wurde, ruht der Kolben und der Zylinder bewegt sich. Der das Mundstück tragende Teil *A* ist mit dem Zylinder *B* (beide bestehen aus Gußeisen) durch die beiden starken Stahlstangen *w* verbunden, auf welche die Wulste *r* aufgekeilt und die Muttern *m* geschraubt sind. Der Kolben *k* besteht aus Messing oder Kupfer oder billiger aus galvanisch verkupfertem Eisen; er ist durch die Ledermanschetten *l* abgedichtet. Das Druckwasser tritt durch das Rohr *a* und das Sperrventil *v* ein; durch die Öffnung *o* kann es austreten. Das mit dem Kolben fest verbundene Gußstück *g* verschiebt sich auf den Stangen *w*. An *g* schließt sich der Preßzylinder *c*, welcher mit dem Schlitten *d* auf der unteren Stange *w* gleitet. Um die Kohlenpatrone in den Ladezylinder einzuführen, dient ein Zahnradgetriebe. Der Zylinder *c* trägt am Ansatz *e* ein Zahnrad *z*, in welches der gezahnte Kreisbogen *s* eingreift, welcher mit dem Gußstück *g* verbunden ist. Wenn man das Zahnrad *z* dreht, so bewegt sich *g* um die untere Stange *w* als Welle zur Seite und gibt die Öffnung des Ladezylinders frei. Das Gegengewicht *f* hilft den Zylinder wieder in den Weg der Presse einschalten. Die Fortsetzung von *c* ist der Kanal *i*, auf welchem bei *n* das Mundstück geschraubt wird;

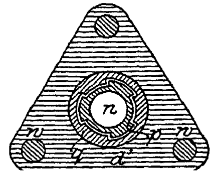


Abb. 91. Mundstück der Strangpresse.

[1] Beim Austritt aus dem Mundstück dehnt sich die vom hohen Druck befreite Masse wieder ein wenig aus, so daß der Querschnitt des Stranges etwas größer als der des Mundstückes wird.

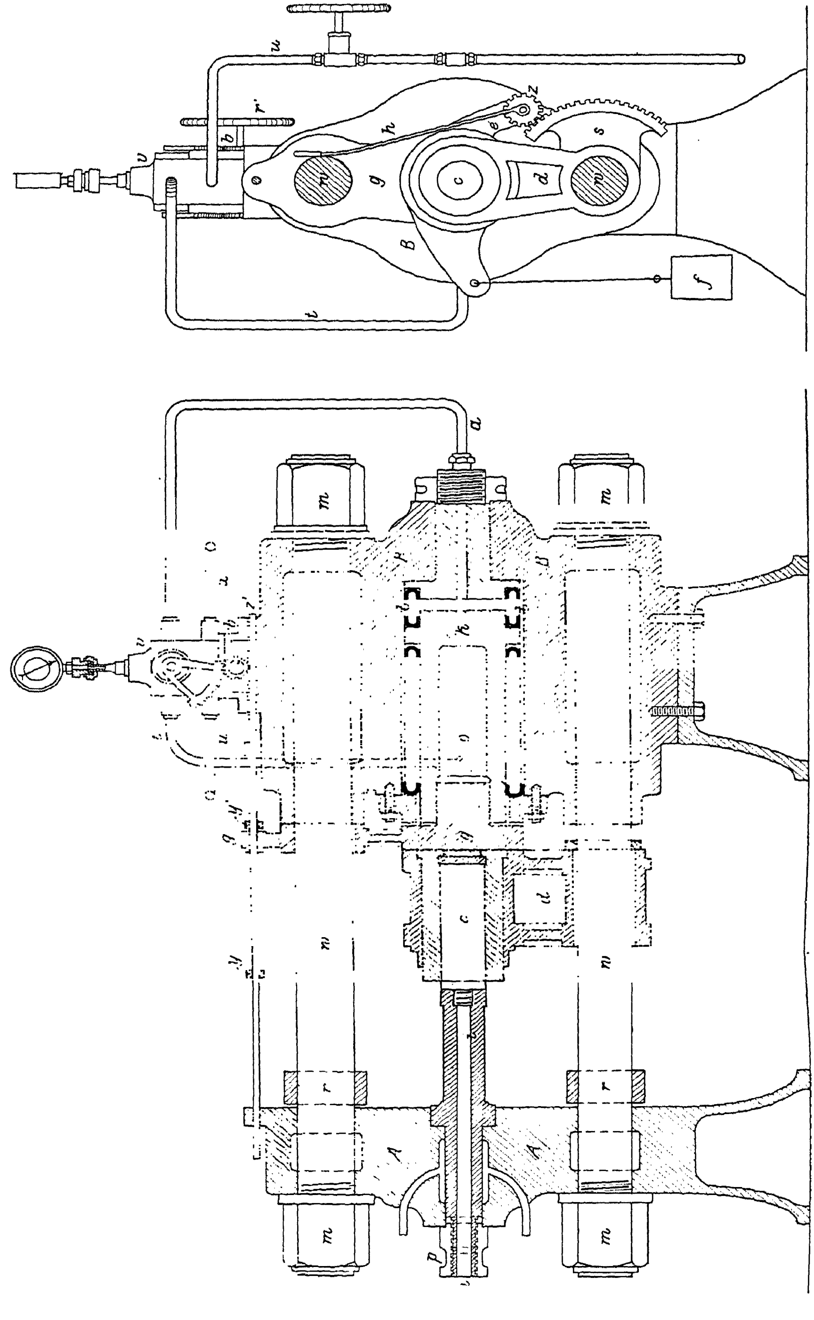


Abb. 92. Waagerechte Strangpresse mit beweglichem Zylinder.

er wird vorn durch Dampf geheizt. Wenn Kohlenrohre hergestellt werden sollen, so wird in der durch Abb. 93 angedeuteten Weise in das Mundstück *m* ein Dorn *d* eingesetzt und mittels des Ringes *r* und der drei Streben *s* im Mundstück befestigt. Auch hier ist die Form, nach der sich bei *u* das Mundstück kegelförmig verengt, sehr wichtig. Die Ventilsteuerung des Druckwassers arbeitet in folgender Weise (siehe Abb. 92). Der Teil *g* stößt bei seiner Verschiebung gegen die Nasen *y* und *y'*, wodurch die Zahnstange *z'* einmal nach links und das andere Mal nach rechts gezogen wird; sie greift in das Zahnrad *b* und dieses dreht einen gezahnten Kreisbogen, welcher nun die Ventile stellt. Das Rädchen *b* läßt sich auch mit dem Handrad *r'* bewegen, so daß man das Druckwasser jederzeit von Hand umsteuern kann.

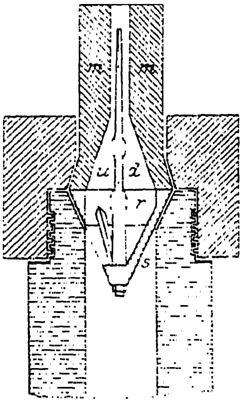


Abb. 93. Mundstück mit Dorn zum Spritzen von Rohren.

Abb. 94 zeigt eine Nürnberger Horizontalpresse mit beweglichem Kolben von Pemsel. Der Ladezylinder *m* ist, um ihn zu beschicken, mit den Zapfen *z* in den Lagern *k* drehbar. Nachdem er wieder eingeschwenkt ist,

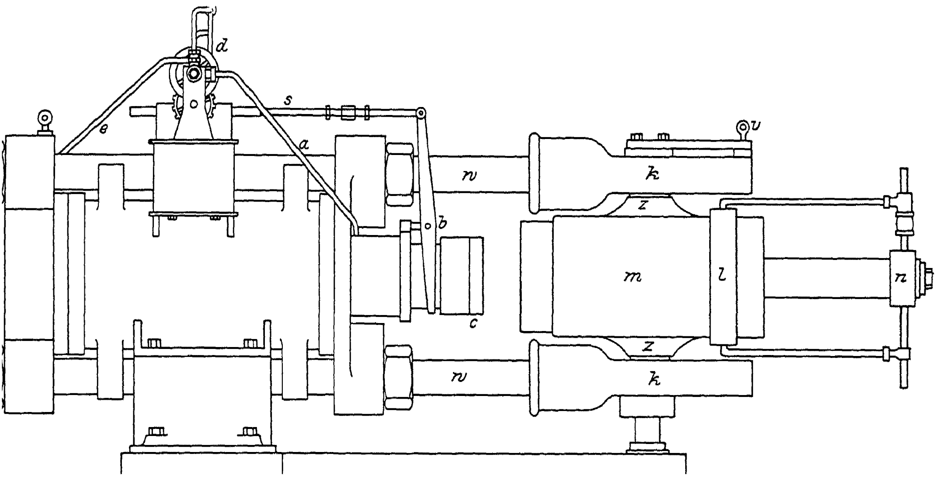


Abb. 94. Waagerechte Strangpresse mit beweglichem Kolben. Das Druckwasser tritt durch das Rohr *a* und das Sperrventil *v* ein; durch die Öffnung *o* kann es austreten.

sichert ein Hebel mit Vorstecker *v* seine Stellung. Bei *l* und bei *n* heizen Dampfmäntel die Masse. Das Druckwasser wird selbsttätig gesteuert, indem eine Zahnstange *s* durch einen um das Lager *b* drehbaren Hebel verschoben wird. Abb. 95 zeigt die Umsteuerungs-

vorrichtung. Die vier Ventile sind an einer gemeinsamen Achse derart angebracht, daß einerseits *1* und *3*, andererseits *2* und *4* gleichzeitig geöffnet oder geschlossen werden. Sie werden durch das Rad *d*

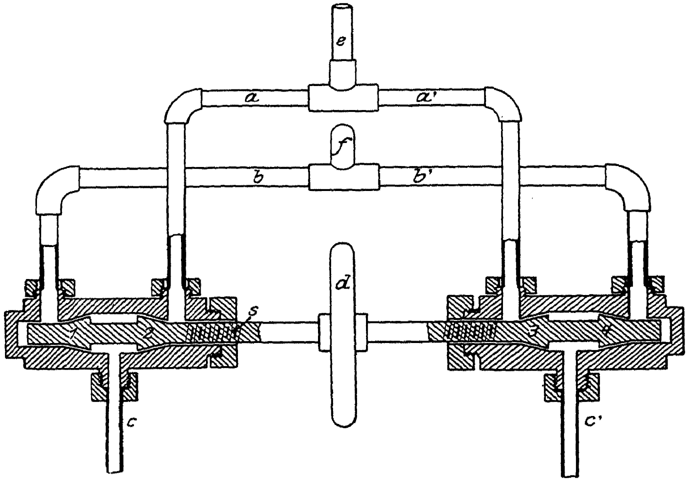


Abb. 95. Ventilsteuerung des Druckwassers bei der Strangpresse.

mittels der Schrauben *s* bewegt. Das durch das Rohr *e* eintretende Druckwasser strömt, wenn *1* und *3* geschlossen sind, durch *a* und das Ventil *2* in das Rohr *c* und von diesem unter den Kolben der Presse.

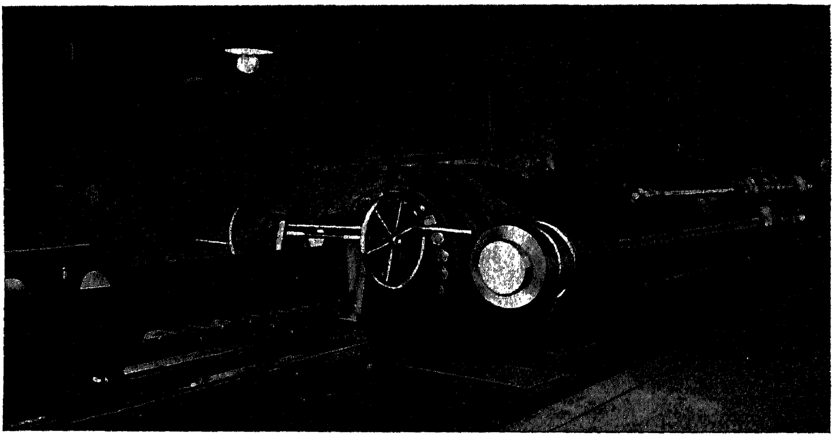


Abb. 96. Große waagerechte Strangpresse.

Das Abwasser hingegen gelangt durch das Rohr *c'*, das Ventil *4*, die Röhren *b'* und *f* in den Wasserbehälter zurück. Wenn man dagegen die Ventile umsteuert, so tritt das Druckwasser durch *a'*, Ventil *3* und Rohr *c'*

über den Kolben, während das Abwasser über *c*, Ventil *1* und Rohr *b* in die Leitung *f* abfließt.

Das Arbeiten der Strangpresse wird beschleunigt, wenn man sie mit zwei Ladezylindern versieht; dann kann man den einen Zylinder schon beschicken, während die Füllung des anderen ausgestoßen wird.

Abb. 96 zeigt eine große waagerechte Strangpresse, wie sie Rundelektroden ausstößt. Sie hat eine Kraft von 2400 t; der durchschnittliche Druck beträgt 380—400 kg/cm². Je nach dem Durchmesser liefert der etwa 1200 kg wiegende Block, welcher aus der Stampfpresse in die Strangpresse gelangt, 4—8 Elektroden.

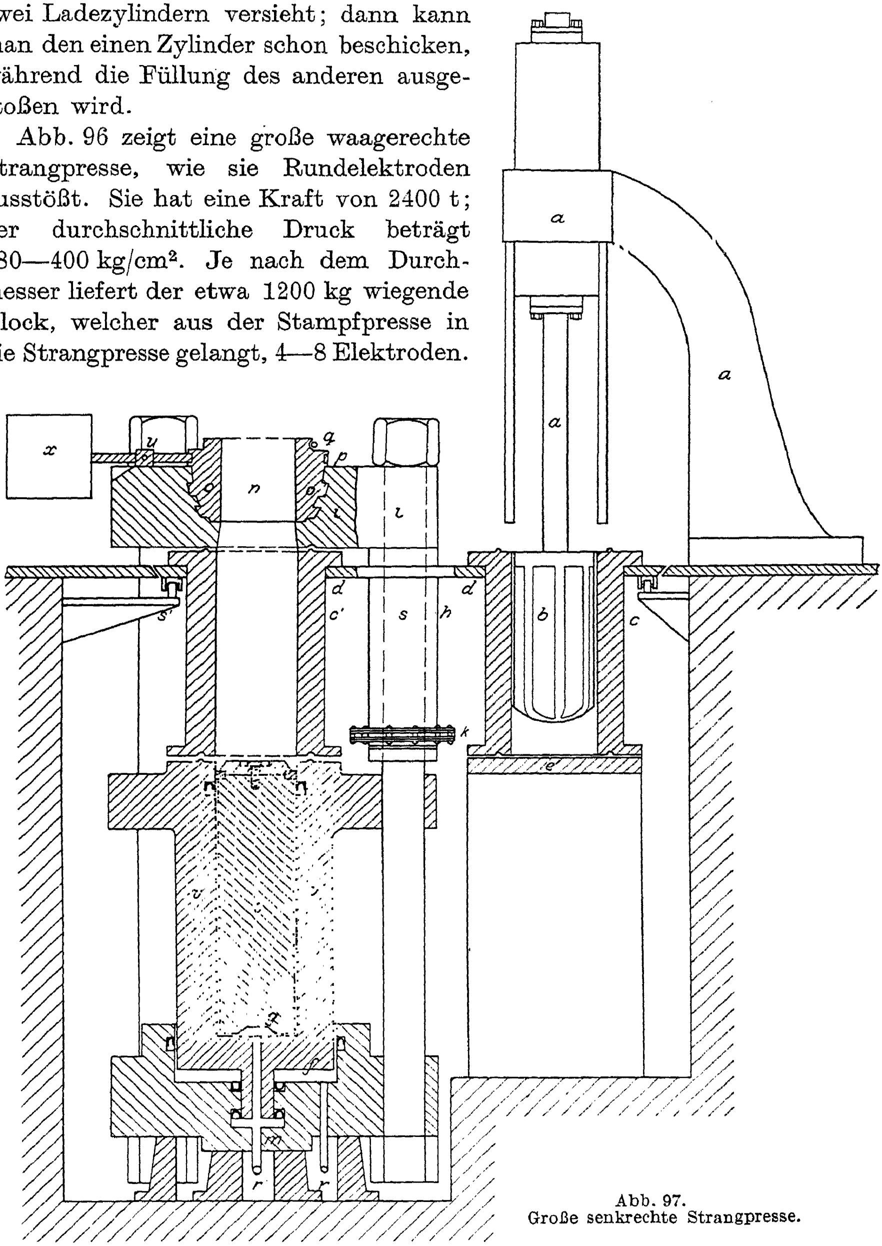


Abb. 97.
Große senkrechte Strangpresse.

Die größten Elektroden z. B. von 500 × 500 mm werden bei uns zumeist auf senkrechten Pressen hergestellt. Abb. 97 gibt den schematischen Schnitt einer solchen Presse, an welche rechts das Stampfwerk *a* angeschlossen ist. Deren Stampfkolben ist mit länglichen Schlitzen versehen, durch welche die aus der Mischung vertriebene Luft entweicht. Der Preßzylinder *c* hängt ebenso wie sein Zwillingsbruder *c'* an der Drehscheibe *d*. Sobald *c* vollgestampft ist, löst man ihn von der Platte *e*

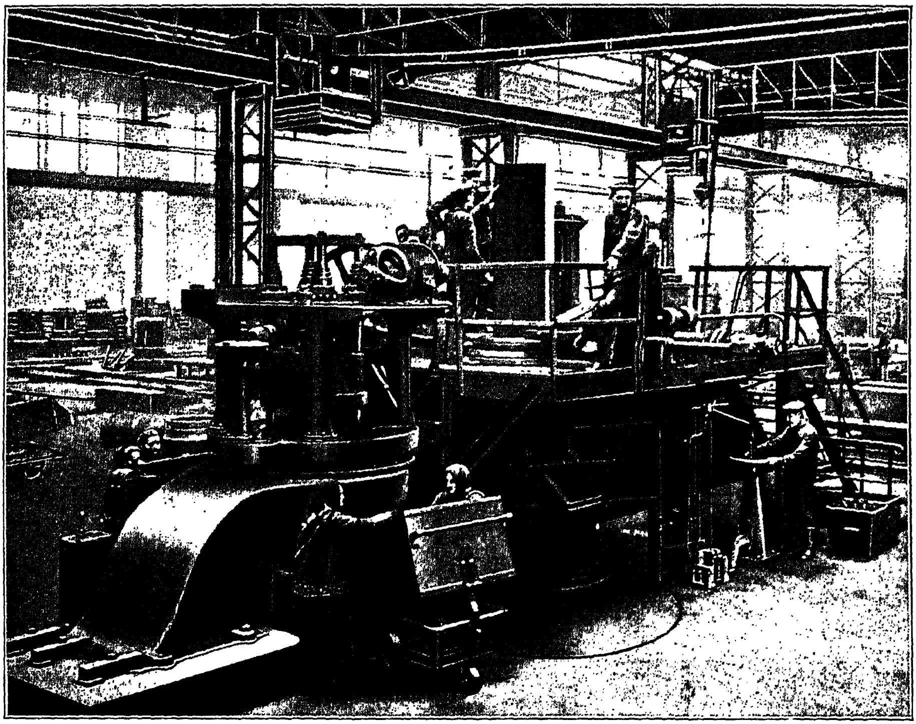


Abb. 98. Große Presse in Ratibor

und bringt ihn durch Drehen um 180° über den Kolben der hydraulischen Presse. Diese Drehung geschieht durch die Kette *k*, welche in einen Zahnkranz greift und an ihm die hohle Welle *h* um die Säule *s* dreht. Drei solcher gewaltigen stählernen Säulen halten die Riesenpresse zusammen. Der Druckwasserzylinder *v* ist im Gußstück *w* gelagert. Sobald der gefüllte Ladezylinder in die Presse eingeschwenkt ist, wird zunächst das Druckwasser durch die Leitung *r* unter den Zylinder *v* gelassen, damit es ihn gegen den Ladezylinder *c'* und diesen gegen das Kopfstück *i* preßt. Nunmehr öffnet man ein zweites Ventil und läßt das Druckwasser durch *m* unter den Preßkolben *t* treten.

Jetzt wird durch den ansteigenden Kolben die Elektrode aus dem Mundstück langsam ausgestoßen. Das dem gewünschten Querschnitt entsprechende gewichtige Mundstück wird ähnlich wie in Abb. 91 durch Kreisabschnitte in das Kopfstück der Presse gehalten; es läßt sich im Ringe *p* durch das Schneckengetriebe *q* drehen. Außerdem kann es noch samt dem Ringe um die Achse *u* ausgeschwenkt werden; *x* ist ein Gegengewicht. Der Preßdruck beträgt 200—400 at je nach der Bildsamkeit der Masse und dem zu pressenden Querschnitt. Während die Elektrode ausgestoßen wird, kann schon im anderen Zylinder ein-

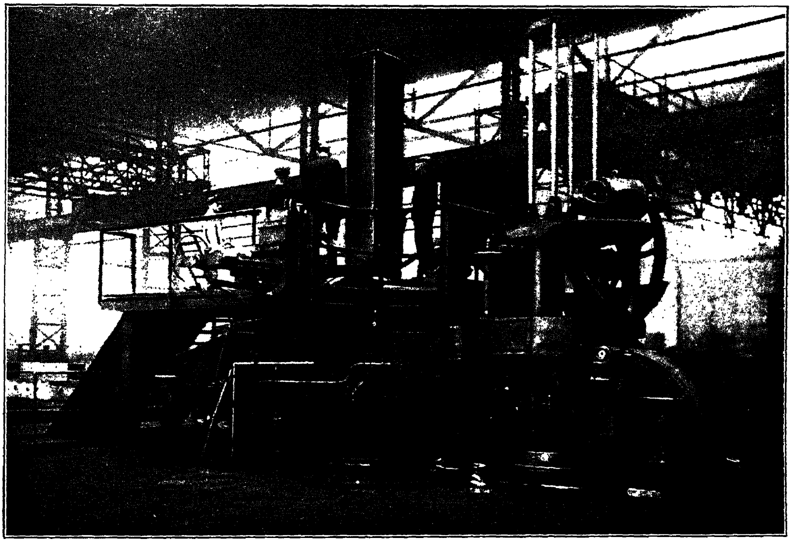


Abb. 99. Große Presse in Ratibor.

gestampft werden. Abb. 98 gibt die Ansicht einer noch größeren Riesenpresse der Planiawerke in Ratibor; während die Mischung von beiden Seiten eingeschüttet wird, steigt eine rechteckige Elektrode aus dem Mundstück empor. Abb. 99 und 100 zeigen diese Presse noch einmal, und zwar von der einen und von der anderen Seite. Abb. 101 schließlich zeigt die Presse in der Montage, bevor sie auf ihre mächtigen Fundamente hinabgesenkt ist; hier kann man schön den Drehtisch sehen.

Was den hydraulischen Teil der Presserei anlangt, so kann man, statt den Druck der Pumpe unmittelbar auf die Presse wirken zu lassen, bekanntlich einen „Akkumulator" zur Aufspeicherung benutzen. Man kommt dann mit einer viel kleineren Pumpe aus, ebnet Stöße und Schwankungen ein und vermeidet Leerlauf der Pumpe zwischen den Arbeitshüben der angeschlossenen Pressen. In dem Akkumulator von

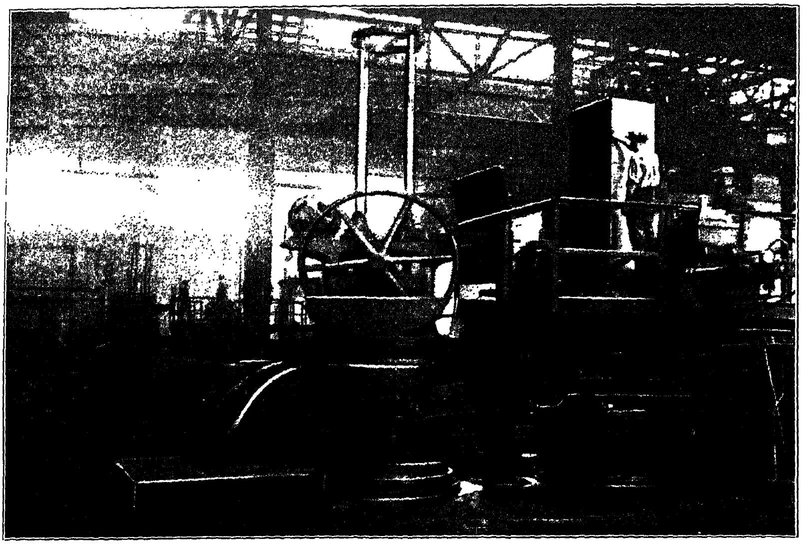


Abb. 100. Große Presse in Ratibor.

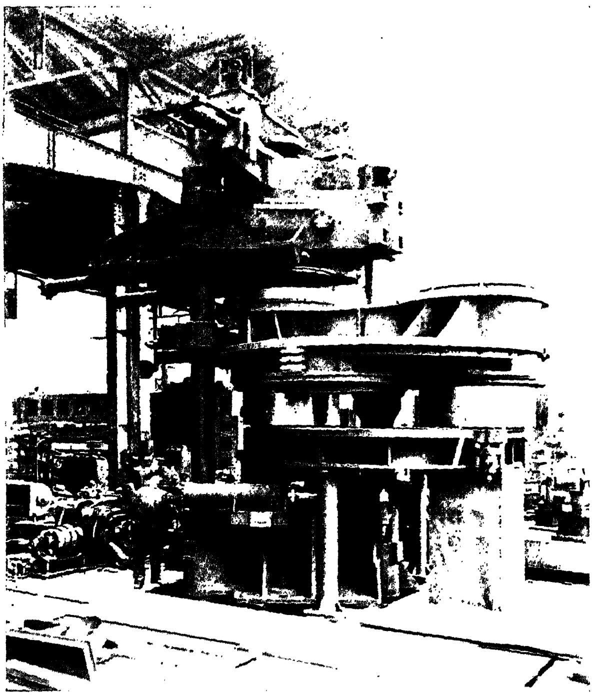


Abb. 101. Große Presse in Ratibor bei der Montage.

Werner u. Pfleiderer wird, anstatt wie früher eine gewaltige Last etwa von gußeisernen Platten zu heben, einfach Druckluft in mäßig großen Stahlbehältern aufgespeichert. Man erreicht dadurch den weiteren Vorteil, daß die Druckluft dank ihrer Spannkraft sehr ruhig arbeitet.

Nachdem die ausgestoßene Elektrode über dem Mundstück der Presse abgeschnitten ist, wird sie sorglich gestützt in die Richthalle überführt. Hier läßt man sie auf ebenen gußeisernen Platten

erkalten. Abb. 102 zeigt die große Richthalle in Ratibor. Hier wird jede einzelne grüne Elektrode genau untersucht, bevor sie in die Ofenhalle zum Brennen wandert.

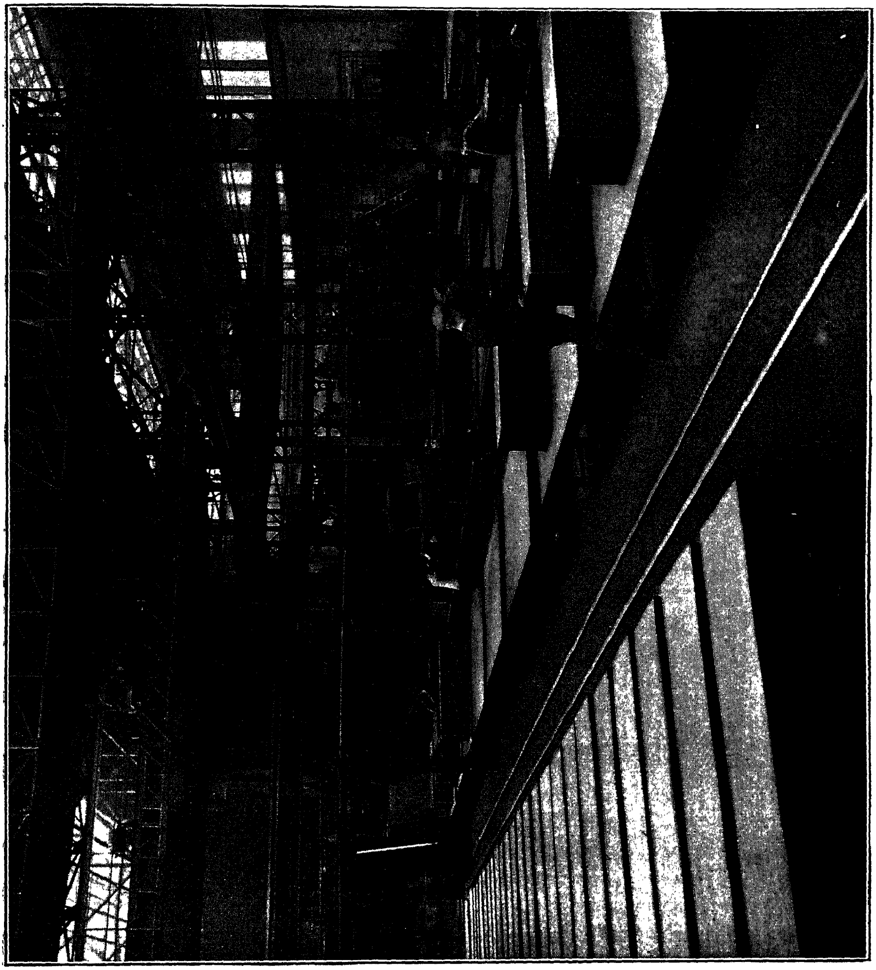


Abb. 103 gibt das Schema einer amerikanischen Anlage für gespritzte Elektroden. Sie ist in drei Geschossen übereinander untergebracht. Im obersten Geschoß fährt ein Kran, der unter der Decke an einer Schiene läuft, einen Kasten mit dem aus den verschiedenen Bunkern

abgewogenen Gemenge zu Trichtern, welche in Mischmaschinen des zweiten Geschosses entleeren. Diese Mischtrommeln werden ihrerseits in Kippwagen entleert, welche auf Schienengleisen vor die Mischer gefahren sind. Die Kippwagen entladen in Trichter, welche im unteren Raum die Formen der Vorpresse versorgen. Von der Vorpresse werden die Preßlinge durch einen Rollenförderer zum Ladetisch für die Strangpresse überführt. Die Ballen werden in die Strangpresse geladen, heiß aus dem Mundstück ausgestoßen, durch ein Messer auf einen Tisch zunächst dem Mundstück in passender Länge abgeschnitten und zur raschen Abkühlung auf einem Holzleistenförderer durch den mit Wasser durchflossenen Kühlbottich geführt. Aus dem Kühlbottich werden die grünen Elektroden auf einen Tisch befördert, wo sie genau auf etwaige Fehler untersucht werden.

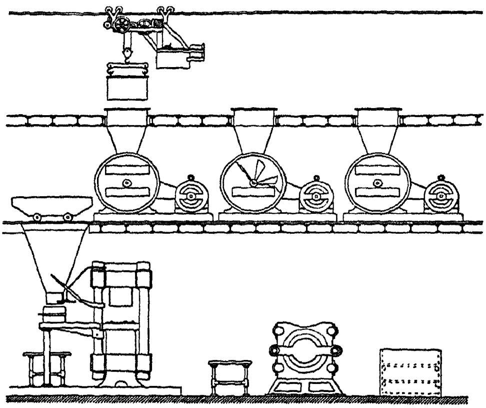


Abb. 103.

Gute Elektroden müssen genügend dicht und frei von Querrissen sein, dürfen kein ungeschmolzenes Pech oder Fremdkörper enthalten, sollen in genauer Länge rechteckig abgeschnitten sein und überhaupt genaue Form besitzen. Fortlaufend werden Proben entnommen, um die Dichtigkeit der Masse zu messen und sie chemisch zu untersuchen.

Siebentes Kapitel.

Brennen und Graphitieren.

A. Ringöfen.

Ringofen von Meiser. Nachdem die grünen Elektroden beim Lagern genügend erhärtet sind, setzt man sie in die Brennöfen ein. Im allgemeinen sind es mit Generatorgas geheizte Ringöfen, welche als Tieföfen in die Erde eingebaut sind. Abb. 104 zeigt die Anordnung der Kammern und die Führung der Heizgase, der Luft und des Feuers in einem vorbildlichen Ringofen von Meiser in Nürnberg. Die einzelnen Kammern, in welche die Elektroden senkrecht eingesetzt werden, sind mit Deckeln verschlossen, welche man mit einem Laufkran abhebt. Aus dem Gaserzeuger *b* treten die Heizgase in den Gaskanal *c*, der in der Mitte des Ofens angeordnet ist; sie werden, indem man eiserne Überführungen *d* aufsetzt, der gerade im Feuer befindlichen Kammer (im oberen Teil der

Abb. 104 Kammer Nr. 7) zugeführt, wo sie mit der in den Vorkammern 2—6 vorgewärmten Luft verbrennen (von Kammer 1 und 2 sind die Deckel abgenommen). Die Rauchgase strömen dann weiter durch die erst gefüllten Kammern, wärmen deren Inhalt vor und ziehen in Kammer *12* durch die eiserne Überführung *e* in den Rauchkanal *n*, welcher die Gase in den Kamin führt. Wenn in Kammer *7* die Elektroden gar gebrannt sind, so geht man (unterer Teil von Abb. 104) zur nächsten Kammer *8* über, nachdem man auf Kammer *1* den Deckel und die Rauchüberführung *e* gesetzt hat. Indem man die Gasüberführung *d* auf *8* umsetzt, wird die Kammer *8* in Brand gesetzt; nachdem von

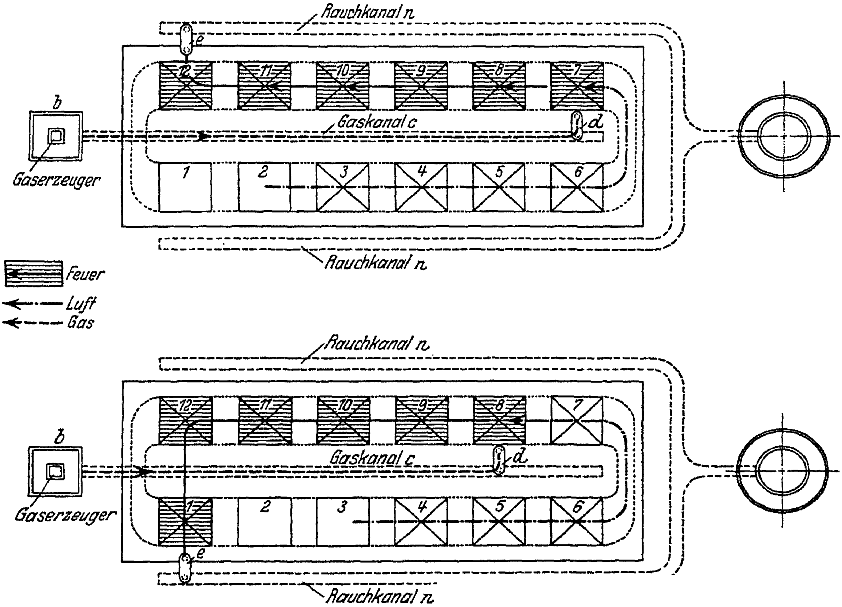


Abb. 104. Ringofen von Meiser.

Kammer *3* der Deckel abgehoben ist, wird von dort die Frischluft für die Verbrennung durch den Kaminzug angesogen. In solcher Weise läßt man langsam das Feuer von Kammer zu Kammer im Ring herumwandern[1]. Gegen Luftabbrand werden die Elektroden in den Kammern durch aufgeschütteten Kohlenstaub geschützt (Abb. 105). Die aus den Elektroden beim Brennen entweichenden Gase können gesammelt und verwertet werden.

Kleine Kohlen packt man zum Brennen im Tiegel, füllt mit Kohlenstaub auf, der auch dafür sorgen muß, daß sich nirgends die grünen Kohlen berühren, deckt die Tiegel zu und setzt sie so dicht als möglich

[1] Die Befeuerung muß sehr gleichmäßig sein, sonst können Spannungen in den Elektroden auftreten und Risse geben.

in die Ofenkammern ein. Abb. 106 und 107 zeigen in Schnitten die Einzelheiten eines kleineren Ringofens, der mit Tiegeln besetzt wird. Die Schnittebenen sind mit *I*, *II* und *III* bezeichnet. Das im Generator *L* erzeugte und im Behälter *N* gesammelte Brenngas wird aus dem Kanal *C* durch die aufgesetzte Überführung *B*, sobald das Ventil *V* geöffnet ist, in die zu befeuernde Kammer geleitet, und zwar zunächst abwärts durch *D*, nun am Boden der Kammer entlang, dann durch die Löcher *O* in die Züge *E* und *F* aufwärts. Die zur Verbrennung nötige Luft wird an der jeweils dazu bestimmten Kammer durch die Öffnung *l* eingesogen; die Überführung *B* fehlt hier natürlich; statt dessen sind die



Abb. 105. Blick in eine gefüllte Kammer.

Öffnungen im Kanal *C* durch schwere gußeiserne Deckel *d* verschlossen und mit Sand abgedichtet. Die Luft gelangt durch mehrere sich abkühlende Kammern genügend vorgewärmt in die zu befeuernde Kammer, wo sie mit dem Brenngas zusammentrifft. Die Flamme wird über den Kopf der Kammer geführt und die heißen Abgase wandern durch eine Anzahl folgender Kammern, heizen sie an und treten schließlich durch das geöffnete Ventil *V'* in den zum Schornstein führenden Abgaskanal *S* über. Was die übrigen Buchstaben der Abb. 106 und 107 anlangt, so bedeutet *G* das durch hohle Schamottesteine gebildete Gitterwerk, welches durch die aus den Löchern *c* strömenden Gase erhitzt wird. Durch Schaulöcher kann die Glut im Ofen beobachtet werden.

Abb. 108 zeigt, wie eine große Elektrode mit Hilfe eines Flaschenzuges in die Kammer eingesetzt wird. Nach dem Einsetzen werden die Elektroden in feinen Koksgrus eingebettet, mit einer ordentlichen Lage

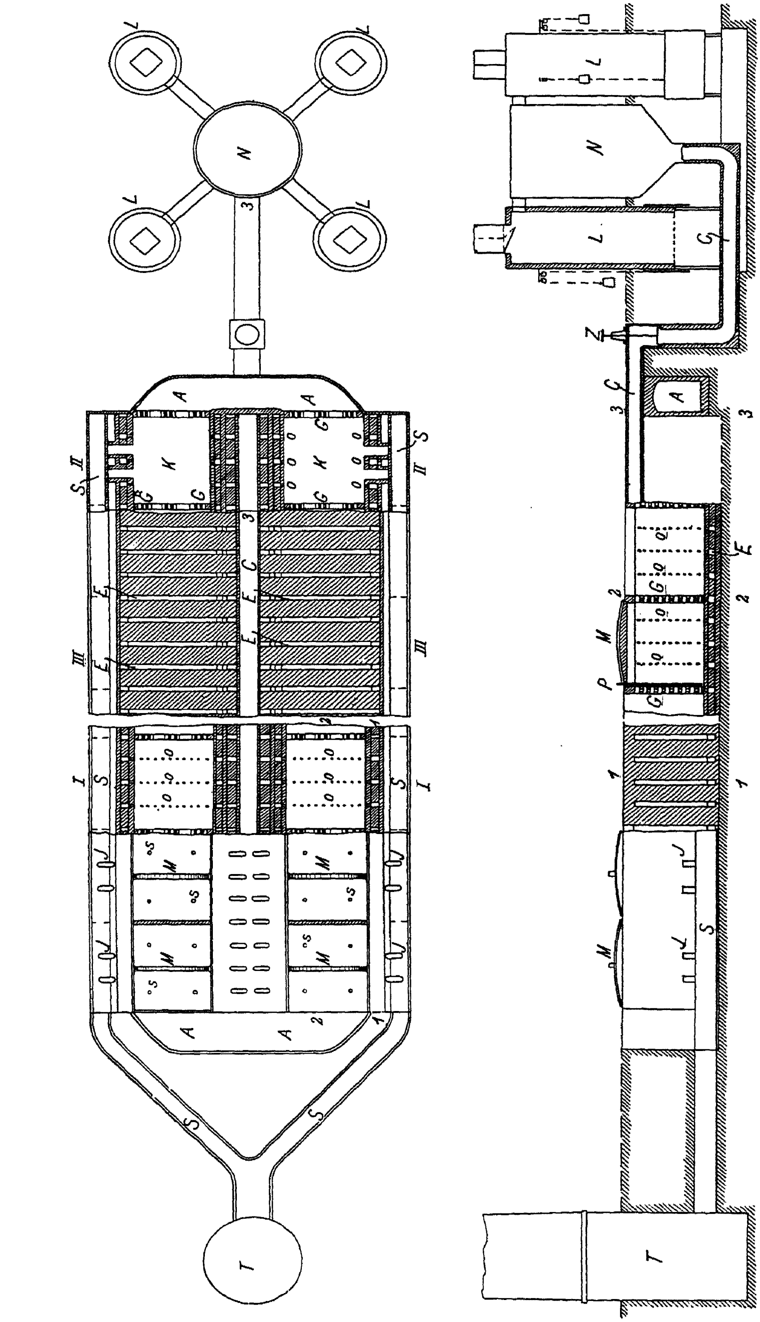


Abb. 106. Schnitte durch einen kleineren Ringofen.

Koksgrus bedeckt, dann die Kammern mit Schamotteplatten zugedeckt und schließlich die Deckel aufgesetzt. Sobald die fertig gebrannten Elektroden genügend abgekühlt sind, wird der schwere Deckel *M* (siehe Abb. 107) mit Hilfe von Haken, welche in die Öffnungen *e* eingeführt sind, durch einen Laufkran gehoben. Statt den Kohlenstaub und

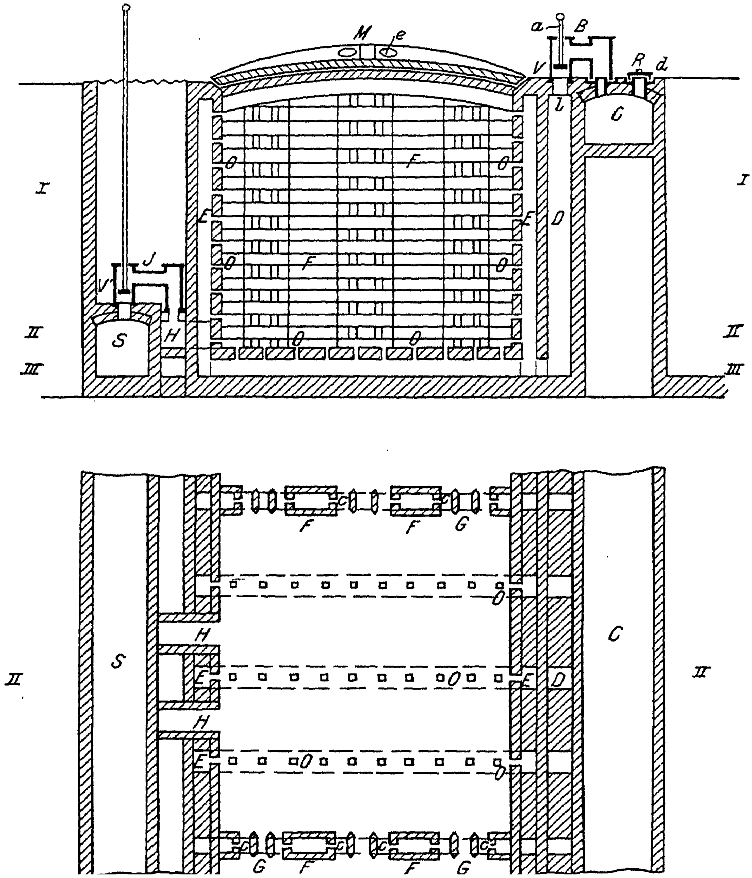


Abb. 107. Schnitte durch einen kleineren Brennofen.

Grus herauszuschaufeln, saugt man ihn zweckmäßig heraus und vermeidet dadurch die großen Unannehmlichkeiten, welche früher mit dem Herausschaffen des feinen Kohlenstaubes verbunden waren. Die Elektrode wird mit einer Zange gefaßt, durch den Kran herausgehoben und in eine Nachbarhalle zur Säuberung überführt.

Abb. 109 zeigt einen Ringofen im Bau, Abb. 110 die große Ofenhalle der Plania-Werke in Ratibor. Gegenüber den älteren mit Unterbrechung

arbeitenden Brennöfen ersparen diese stetig arbeitenden Ringöfen mindestens 30% an Brennstoff und liefern gleichmäßiger durchgebrannte Elektroden. Einschließlich Anheizen und Abkühlen dauert das Brennen etwa 10—14 Tage.

Amerikanische Ringöfen. Abb. 111 zeigt einen amerikanischen Ringofen[1] mit 18 Sektionen. Jede Sektion besteht aus 4 länglichen Kammern, die quer zur Gasführung nebeneinander liegen, und zwar immer zwischen zwei Stellen des Gaseintrittes und des Gasaustrittes. Über die Breite jeder Sektion erstrecken sich Ausgleichszüge, welche etwaige Unterschiede im Gasdruck innerhalb der Sektion aus-

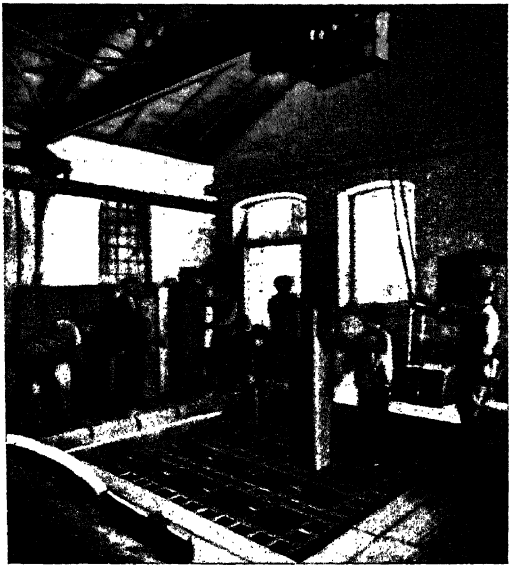


Abb. 108. Einsetzen einer großen Elektrode in die Ofenkammer.

[1] Mantell: Industrial Carbon, S. 138.

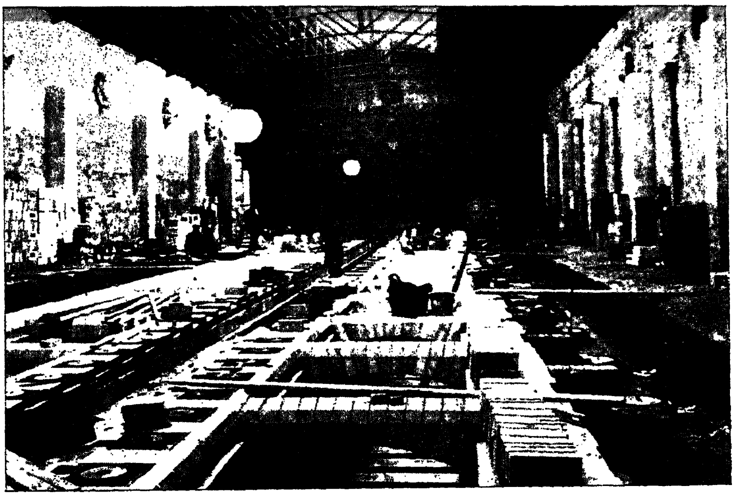


Abb. 109. Ringofen im Bau.

gleichen. Die gestrichelten Linien deuten den Weg der Feuergase und der Abgase an; wie üblich, liegt der Heizgaskanal in der Mitte des

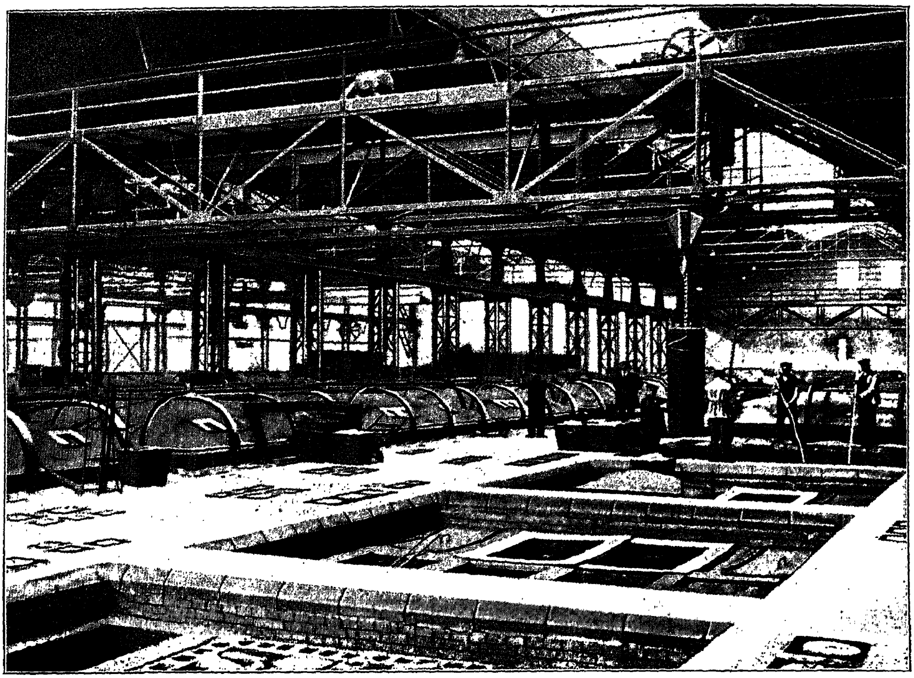


Abb. 110. Große Ofenhalle in Ratibor.

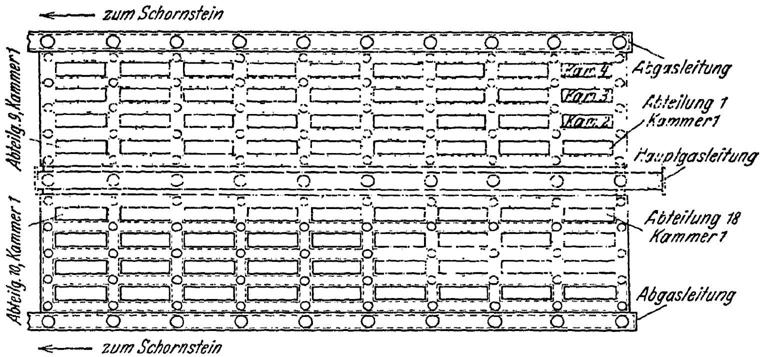


Abb. 111. Amerikanischer Ringofen.

Ofens und die Kanäle für die Abgase auf seiner Außenseite. Die größeren Kreise bedeuten die Anzapfstellen des Heizgaskanals und die Zugänge

zum Abgaskanal, die kleineren Kreise dagegen Öffnungen in den Heizkanälen der einzelnen Kammern. Der Heizgaskanal ist ein weites Rohr aus Stahlblech, das mit hochfeuerfestem Ziegelwerk ausgekleidet ist; in seinem Anfang ist ein Schieber eingebaut. Die Abgaskanäle bestehen im allgemeinen aus Mauerwerk und haben rechteckigen Querschnitt; weil aber das Mauerwerk im Laufe der Zeit undicht wird, so geht man jetzt dazu über, auch die Abgaskanäle mit einem Eisenmantel zu versehen. Das Mauerwerk der Kammern, welches gleichzeitig die Feuerzüge enthält, ist aus Feder- und Nutziegeln mit möglichst schmalen Fugen (aus feuerfestem Mörtel) aufgeführt. Damit die Gase möglichst viel von ihrer Hitze an die Kammern abgeben, sind Prallwände („baffles") in die Züge eingebaut, welche die Gase zwingen, im Zickzack zu wandern und so ihren Weg vervielfachen. Abb. 112 zeigt senkrechte Schnitte durch die Züge, und zwar sind im oberen Schnitt die Prallwände, um welche die

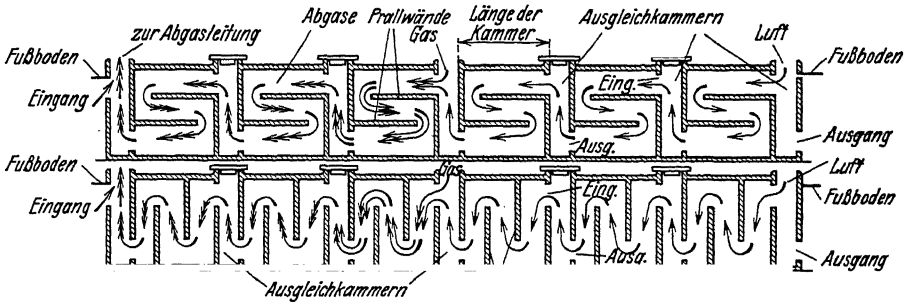


Abb. 112. Amerikanischer Ringofen (senkrechte Schnitte).

Gase wandern müssen, waagerecht, im unteren Schnitt senkrecht angeordnet. Senkrechte Prallwände lassen sich leichter reinigen, indem man mit Druckluft den Staub herausbläst oder nach Art des Staubsaugers abgebröckeltes Mauerwerk usw. heraussaugt. Die Prallwände lenken das Gas von links nach rechts, zwingen es dann nach links umzubiegen; danach muß es unter den Kammern der Sektion weiterwandern, steigt wieder empor usw. und tritt schließlich in die nächste Sektion über.

Die Kammern mit Deckeln zu schließen, hielt man bisher in Amerika meist für unnötig. Nach unserer Ansicht sind diese offenen Öfen nicht so zweckmäßig, wie unsere deutschen Öfen von Meiser, bei denen die Feuergase unter dem Deckel entlang geführt werden und so die Kammern auch von oben beheizen.

Um eine möglichst große Hitze zu erzeugen, muß das Brenngas mit der zur vollständigen Verbrennung gerade nötigen Luftmenge innig gemischt, ferner Gas und Luft gut vorgewärmt werden. Damit der Brennstoff möglichst gut ausgenutzt wird, sollen die Abgase möglichst kalt den Ofen verlassen. Bei den amerikanischen Öfen treten nach Angabe

von Mantell die Abgase meist noch mit 450—550°, selten nur 350° aus; die Luft tritt auf 500—600° vorgewärmt zum Brenngas. Je mehr Kammern man einerseits von der vorzuwärmenden Luft durchstreichen und durch sie abkühlen läßt, andererseits durch die Abgase anheizen läßt, um so besser wird die zugeführte Wärme ausgenutzt, aber um so längere Zeit beansprucht der Kreislauf des Ringofens und um so kleiner ist infolgedessen seine monatliche Leistung an fertig gebrannten Elektroden. Außerdem wird durch den verfügbaren Zug im Schornstein oder bei künstlichem Zug durch die Leistungsfähigkeit der Exhaustoren die Weglänge der Gase begrenzt.

Bei hohem Heizwert des Generatorgases kann die Temperatur in den beheizten Kammern bis 1400° gesteigert werden. Im allgemeinen reichen schon 1200—1300° zum Garbrennen aus, zumal es nicht allein auf die Höchsttemperatur, sondern sehr wesentlich auf die Dauer der Erhitzung ankommt. Um die Temperaturen in den Kammern zu messen, führt man an geeigneten Stellen Thermoelemente ein. Gewöhnlich begnügt man sich mit einem Satz Segerkegel und beurteilt aus deren Erweichen den Ofengang. Bei genügender Übung kann man die Temperatur mit leidlicher Genauigkeit schätzen, wenn man von einem der Schaulöcher den Deckel abhebt und in die Kammer hineinblickt. Abb. 113 zeigt nach Mantell den Gang der Temperatur während des Vorwärmens, Befeuerns und Abkühlens.

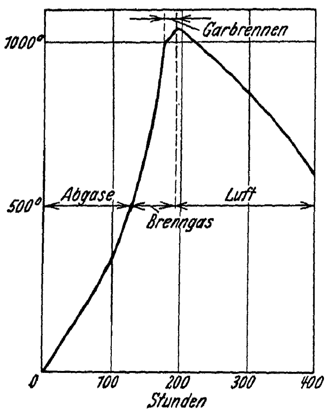


Abb. 113. Temperaturgang im Brennofen.

Zu Beginn der Erhitzung erweichen die Elektroden; dann gibt das Bindemittel Dämpfe ab, welche die Abgase grünlichgelb färben[1]; danach verkokt der Rückstand des Bindemittels und schließlich wird die Elektrode steinhart.

Nach Schuchardt werden auf 1 t grüner Elektroden etwa 250 m³ Generatorgas gebraucht, und ein Ringofen von der heute üblichen Größe erfordert in 24 Stunden etwa 6000 m³. Das Brennen der Elektroden dauert, wie gesagt, einschließlich Anheizen und Abkühlen etwa 14 Tage; Mantell gibt jedoch 14—18 Kreisläufe im Jahr, im Mittel 16 für jede Sektion an, was also für die amerikanischen Öfen eine bedeutend längere Brenndauer bedeutet.

Indem man den Zutritt von Gas und Luft und den Austritt der Abgase

[1] Weil diese Abgase dem Pflanzenwuchs schaden, sahen sich die Amerikaner allmählich genötigt, Gaswäscher einzuschalten; in ihnen scheidet sich ein dünnflüssiger Teer ab. Nach Schuchardt [Zentralbl. d. Hütten u. Walzw. Bd. 31 (1927) S. 700] gibt 1 t grüner Elektroden etwa 110 kg Teer ab.

regelt, kann man den Gang der Ringöfen recht genau überwachen. An allen möglichen Stellen sind Schieber oder Ventile in die Leitung eingebaut.

B. Elektrische Brennöfen.

In Amerika hat man früher zum Brennen der Elektroden ausschließlich elektrische Widerstandsöfen verwendet, welche sehr einfach nach dem Vorbilde des von Acheson für die Gewinnung von Karborundum oder Elektrographit ersonnenen trogartigen Ofens gebaut waren. Wie Abb. 114 zeigt, sind die durch die Stirnwände des Ofens tretenden Elektroden durch mehrere Heizkerne miteinander leitend verbunden. Während die

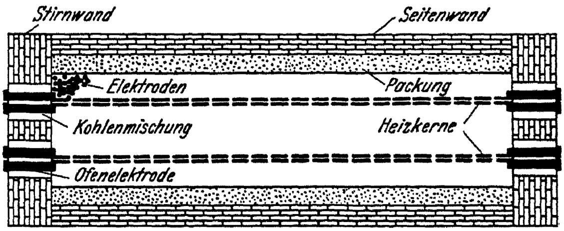


Abb. 114. Elektrischer Brennofen.

Stirnwände aus feuerfesten Steinen mit Mörtel oder Zement aufgemauert sind, werden die Längswände aus losen Ziegeln in abwechselnden Schichten von Bindern und Läufern zusammengefügt, durch eiserne Schienen gestützt und durch Querstangen verschraubt. Der Boden des Ofens wird mit Ziegelbrocken, Sand oder einem anderen billigen Isoliermittel bedeckt. Vor dem Beschicken wird der Ofen von Kohlenstaub gereinigt. Dann werden die grünen Elektroden quer zur Stromrichtung eingesetzt und feingemahlener Petrolkoks dazwischen geschüttet, welcher alle Hohlräume zwischen den Elektroden ausfüllen soll. Eine dicke Lage Kokspulver kommt obenauf.

Der Heizstrom ist gewöhnlich Einphasenwechselstrom von 25 Wechseln und 30—60 Volt Ofenspannung. 4 Öfen hängen an einem Umformer; von ihnen ist der eine unter Strom, der zweite kühlt ab, der dritte wird entleert, und der vierte beschickt.

Zunächst wird mit der höchsten Spannung angefahren. Weil die Heizkerne viel besser als die Beschickung leiten, so erhitzen sie sich höher und die Temperatur der Beschickung hinkt schon aus diesem Grunde nach. Innerhalb der Beschickung ist die Temperatur nicht so gleichmäßig wie in den Kammern der mit Gas geheizten Öfen, was sich auch daran zeigt, daß diejenigen Elektroden, welche zwischen den Kernen lagen, nachher eine höhere Leitfähigkeit aufweisen. Abb. 115 zeigt nach Mantell, wie die Temperatur des Kernes und die mittlere Ofentemperatur ansteigen. Das Brennen dauert 12—20 Tage, das Abkühlen 20 Tage, wozu für das Beschicken und die etwaigen Ausbesserungen 2—4 Tage, für das Entleeren 3—5 Tage kommen, was im ganzen 37

bis 49 Tage ergibt, also eine dreimal so lange Brenndauer wie bei dem Meiserschen Ringofen.

Zum Entleeren wird zunächst die oberste Koksschicht entfernt und dann die eine Seitenwand oder beide Seitenwände abgebaut. Die noch heißen Elektroden werden mit Zangen herausgehoben.

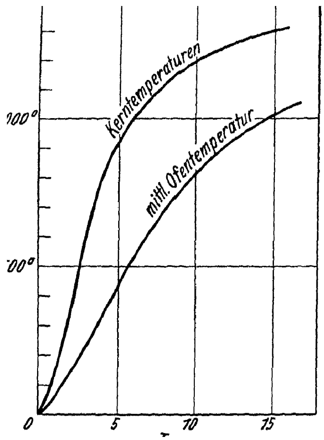


Abb. 115. Temperaturgang im elektrischen Brennofen.

Von Zeit zu Zeit müssen das Bodenfutter und die Seitenwände des Ofens erneuert werden. Beim Betriebe durchtränken nämlich die vom Bindemittel der Elektroden abgegebenen Dämpfe allmählich den Boden und die Ziegel der Seitenwände. Dadurch wird die Isolierung schlechter und auch der Wärmeverlust durch den Boden größer. Besonders lästig ist es, daß sich die Seitenwände allmählich innen mit Koks durchsetzen und dadurch gut leitend werden. Auch das Packmaterial kann nicht ohne weiteres immer wieder verwendet werden. Der Koksstaub wird durch Abbrand reicher an Asche, wird durch die aufgespaltenen Teerdämpfe zusammengebacken und bildet eine bröckelige Masse, welche vor der Verwendung wieder gemahlen werden muß.

Weil im elektrischen Ofen die durch den meist nicht billigen elektrischen Strom erzeugte Wärme schlecht ausgenutzt wird, die Arbeit wegen des Schmutzes unangenehm ist, ferner oftmals Ausbesserungen nötig sind, so wird heutzutage auch in Amerika nur in Ausnahmefällen der elektrische Ofen zum Brennen von Elektroden verwendet. Ein solcher Sonderfall liegt auf dem großen Aluminiumwerk Arvida der Aluminum Company of Canada vor, wo gewaltige Strommengen aus billiger Wasserkraft zur Verfügung stehen, dagegen Kohle aus weiter Ferne herangefahren werden

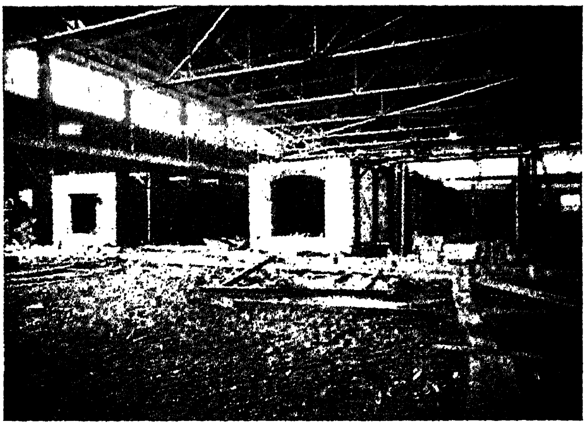


Abb. 116. Elektrische Brennöfen in Arvida (im Bau).

muß. Hier werden zum Brennen der Elektroden 60 m lange Kanalöfen benutzt, welche 3 × 3 m Innenmaß haben[1]. Durch die offene Decke des Ofens werden die Körbe aus dickem Eisenblech, in welchen die grünen Elektroden gestapelt sind, durch einen Kran unmittelbar in den Ofen überführt. Hier setzen Arbeiter die Elektroden in Reihen und füllen die Zwischenräume mit fein gemahlenem Petrolkoks aus. Die Elektroden selber bilden den Heizkörper. Nach dem Brennen und Erkalten werden sie herausgehoben, von Hand gesäubert und wieder in Eisenblechkästen verstaut. Abb. 116 zeigt mehrere solcher Öfen im Bau[2].

C. Behandlung nach dem Brennen.

Das Säubern der Elektroden. Die fertig gebrannten Elektroden, welche in Petrolkoks von genügend feiner Mahlung eingebettet waren, sind gewöhnlich leicht zu säubern. Das anhaftende Kokspulver läßt sich meist durch Klopfen oder Bürsten leicht entfernen. Anders ist es, wenn das Packmaterial an niedrig schmelzender Asche reich war. Dann kann auf der Oberfläche der Elektrode eine schwerer zu entfernende Schlacke sitzen. Auch zu grober Koks schadet, indem sich Körner in die erweichende Elektrode eindrücken. Am allerschlimmsten ist es, wenn infolge unsorgfältiger Packung sich zwei grüne Elektroden unmittelbar berührten; dann können sie beim Erweichen zusammenbacken und sind nicht zu gebrauchen.

Zum Reinigen verwendet man Bürsten, Scheuerfässer und Schleifscheiben. Kohlenplatten schiebt man zwischen zwei waagerechten sich entgegengesetzt drehenden Stahldrahtbürsten hindurch. Rechteckige Elektroden werden zwischen zwei senkrechten Bürsten durchgeschoben, dann um 90° gedreht und nochmals durchgeschoben oder man läßt sie durch ein waagerechtes und ein senkrechtes Bürstenpaar hintereinander wandern. Die Oberfläche von Rundelektroden wird durch rotierende Bürsten gereinigt, welche manchmal auf der Innenseite eines Ringes befestigt sind. Falls das Bürsten zur völligen Reinigung nicht genügt, so werden die Kohlen mit Schleifscheiben abgeschliffen. Man verwendet

[1] Bride, R. S. Mc.: Chem. metallurg. Engng. Bd. 34 (1927) S. 80.

[2] In einem Tunnelofen, der mit Generatorgas geheizt wird, hat die British Aluminium Co früher ihre Anoden gebrannt. Der Tunnel war 61 m lang. Die Blöcke wurden zu je 42 auf einen niedrigen Wagen aus Schamotte gepackt. Sobald ein Wagen eingefahren wurde, kam am anderen Ende ein Wagen mit fertig gebrannten Anoden heraus, und dann wurden die eisernen Türen wieder geschlossen. Die eintretenden Gase kühlten die gebrannten Blöcke, die Abgase wärmten die grünen Kohlen vor. Die höchste Hitze in der Mitte des Tunnels betrug oben gewöhnlich 1150°, am Boden der Anodenwagen nur 700°. An jeder Seite des Ofens erlaubten 4 Ventile, den Ofengang zu regeln. Das Brennen dauerte $5^1/_2$ Tag. Später brannte man im Ringofen.

hierzu breite Schmirgelscheiben aus Schmirgel oder besser künstlichem Schleifmittel (Karborundum, Elektrokorund u. dgl.).

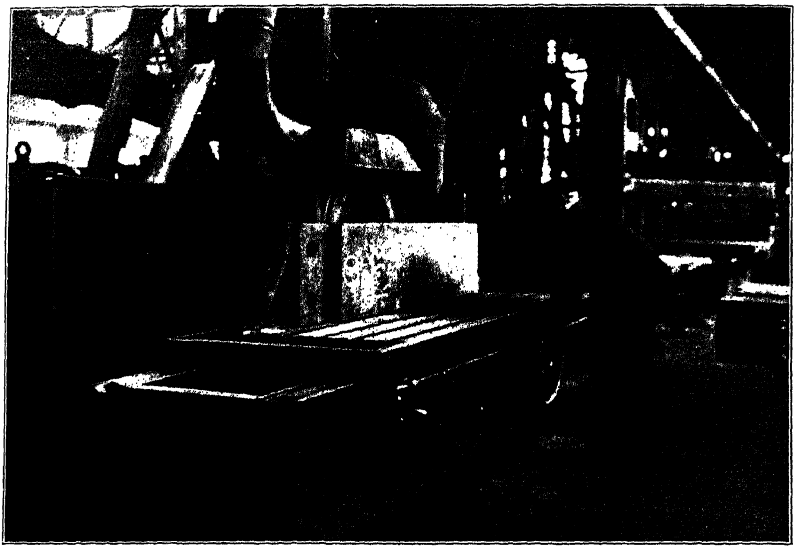


Abb. 117. Anschleifen der Stoßflächen.

Kleine Rundkohlen, deren Länge nicht größer als ihr sechsfacher Durchmesser ist, können einfach in Scheuerfässern gereinigt werden,

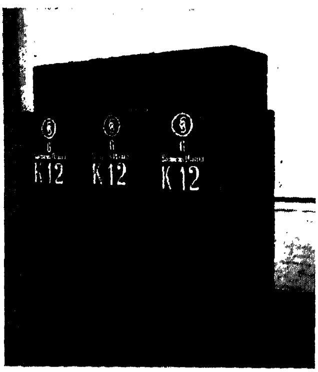


Abb. 118. Elektrodenpaket.

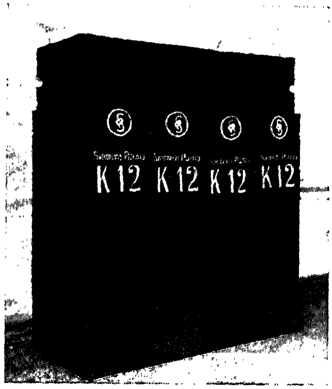


Abb. 119. Elektrodenpaket.

eisernen Zylindern, welche an beiden Enden auf hohlen Wellen ruhen; zum Beschicken und Entleeren sind sie mit einem abnehmbaren Deckel versehen. Während das Scheuerfaß sich langsam dreht, wird durch die

hohle Welle am einen Ende Luft eingesogen, am andern Ende der Staub durch einen Exhaustor abgesogen. Kohlen, die durch das Scheuern

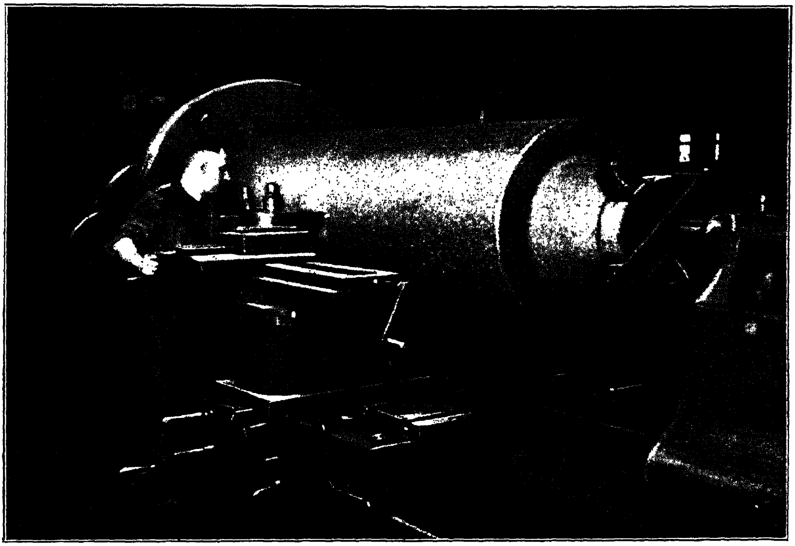


Abb. 120. Abdrehen einer Rundelektrode.

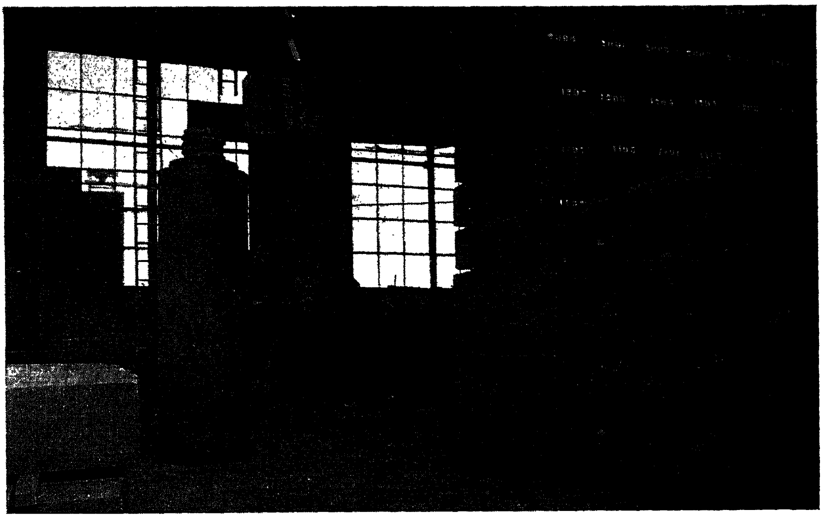


Abb. 121. Abfahren einer Elektrode vom Lager.

nicht genügend gereinigt sind, werden noch gebürstet und im Notfall geschliffen. Alle Reinigungsvorrichtungen sind mit guten Staubabsaugern versehen, welche den Kohlenstaub in eine Sammelkammer führen.

Durch sorgfältige Bearbeitung werden die Ofenelektroden auf genaues Maß gebracht. Die Stoßflächen der rechteckigen Elektroden schleift man (Abb. 118), um sie nachher z. B. zu dreien in ein Paket von 900 × 1500 mm (Abb. 118) oder zu vieren in ein Paket von 700 × 1400 mm Querschnitt (Abb. 119) zusammenzustellen. Rundelektroden dreht man auf der Drehbank ab (Abb. 120). Die fertigen Elektroden kommen, soweit sie nicht sofort versandt werden, auf das Lager. Abb. 121 gewährt einen Blick in ein Lager von Karbidelektroden, aus dem gerade eine Elektrode abgefahren wird.

Zahlenangaben für Ofenelektroden. Als Durchschnittswerte von gut gebrannten Ofenelektroden wurden 1912 angegeben[1]:

Spezifisches Gewicht[2] 1,50—1,55.
Spezifischer Widerstand von 25—3000 mm² Querschnitt 45—100 Ohm.
Temperaturkoeffizient des Widerstandes 25—900° —0,000 318.
Spezifische Wärme, bestimmt bei 100°, 0,18—0,22.
Wärmeausdehnung von 0—700° 0,26%.
Wärmeleitfähigkeit bei Gefälle von 130—20° 0,24 WE/h für einen cm³-Würfel
Druckfestigkeit 230—410 kg/cm².
Biegefestigkeit 51—81 kg/cm².

An der gleichen Stelle wird ein durchschnittlicher Aschengehalt von 2,5—3% genannt, worin 0,45—0,53% Phosphor und 0,9—1,1% Schwefel.

D. Die selbstbrennende Söderberg-Elektrode.

Entwicklung. Der schwedische Ingenieur Söderberg stellte 1909 in Norwegen Versuche an, die grünen Elektroden bei der Verwendung im elektrischen Ofen, z. B. im Karbidofen, durch die Ofenhitze zu brennen. Als während des Weltkrieges die Beschaffung der Kohlenelektroden schwierig wurde, nahm Söderberg seine bisher wenig beachteten Versuche im Auftrage der Norsk A. S. för Elektrokemisk Industri wieder auf und führte sie in Fiskaa an einem Ofen für Ferrosiliziumherstellung glücklich durch. Der mit Einphasen-Wechselstrom von 1500 kW betriebene Ofen arbeitete mit einer gewöhnlichen und einer nach dem neuen Verfahren gestampften Elektrode von 51 × 114 cm Querschnitt oder einer Rundelektrode von 85 cm Durchmesser.

Die Elektrodenmasse wird in einem Eisenblechmantel warm eingestampft, der innen mit Lappen oder Rippen versehen ist, um die Masse gut festzuhalten und den Strom ihrem Innern zuzuführen. Dieser etwa 1 mm dicke Blechmantel ist siebartig gelocht, um den beim Brennen entweichenden Gasen den Austritt zu gestatten. Der Eisenmantel schmilzt unten im Herde ab; im oberen Teil schützt er die Elektrode gegen Luftabbrand. Der Strom wird dicht über dem Herde der Elek-

[1] Stahl u. Eisen 1912 Nr. 45.

[2] In der Druckschrift „Planiaelektroden“ ist 1,50—1,60 angegeben; die übrigen Zahlen stimmen mit den obigen Angaben überein.

trode durch eine Ringfassung zugeführt. Sobald die Elektrode im Ofen auf eine gewisse Länge abgebrannt ist, wird oben ein Mantelschuß angeschweißt und frische Elektrodenmasse eingestampft.

In Amerika wurde 1920 ein Dreiphasenofen für Ferromangan mit 2500 kW in Anniston, Alabama, mit Söderberg-Elektroden ausgerüstet. 1921 begann in Deutschland die AG. für Stickstoffdünger in Knapsack bei Köln ihre Karbidöfen mit diesen Elektroden zu versehen; hier wurden im Laufe der Jahre reiche Erfahrungen gesammelt und bei der Umstellung des ganzen etwa 80000 kW verbrauchenden großen Werkes verwertet.

In einem Elektrostahlofen der Glockenstahl-Werke AG. vorm. Richard Lindenberg, Remscheid-Hasten, prüfte der Stahlwerksausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute 1925 die Söderberg-Elektrode. Er berichtete u. a., daß die ungebrannte Elektrodenmasse der Söderberg-Elektrode aus gemahlenem Anthrazit und Koks in verschiedenen Feinheitsgraden sowie etwa 20% Teer und Pech (2 : 1) als Bindemittel bestehe. Der eigentliche Zweck des Berichtes war, die Wärmebilanz eines Hochleistungs-Elektrostahlofens, Bauart Héroult-Lindenberg, zu ermitteln. In 7 Stunden wurden dem Ofen 5750 kWh zugeführt, welche 4,8 Millionen WE entsprechen; die zum Brennen der Elektrodenmasse verbrauchte Wärmemenge wurde zu nur 1920 WE berechnet.

Einer Zusammenstellung der Lurgi-Apparatebau-Gesellschaft m.b.H., Frankfurt a. M., entnehme ich, daß im ganzen 28 Elektrostahlöfen mit zusammen 50000 kW in Norwegen, Deutschland, Frankreich, Italien, Belgien und Luxemburg mit Söderberg-Elektroden versehen wurden. Im Oktober 1925 waren in der ganzen Welt Söderberg-Elektroden für fast 300000 kW im Betrieb oder im Bau; 1931 waren nach M. Sem[1] Söderberg-Elektroden für etwa 700000 kW eingerichtet. Im Jahre 1929 wurden nach Angabe der die Söderberg-Patente besitzenden norwegischen Gesellschaft über 26000 t Söderberg-Elektroden verbraucht; in 2 Jahren hatte sich der Verbrauch verdoppelt, seit 1925 vervierfacht.

Einrichtung der Söderberg-Elektrode. Abb. 122 zeigt schematisch die Einrichtung, z. B. für einen Karbidofen. Hoch über dem Ofen ist die Elektrode durch den Fußboden der Stampfbühne geführt. In Abb. 123 sehen wir einen Dreiphasenofen des Knapsacker Werkes mit seinen drei nebeneinander hängenden Elektroden, den Elektrodenfassungen, Stromzuleitungen und Kühlwasserrohren, darüber das Stampfhäuschen. Abb. 124 läßt uns in den Stampfraum blicken, wo jede Elektrode in einem besonderen, sie vor Staub und Schmutz schützenden Eisenmantel aufgehängt ist. Die Backen der Stromzuführung, welche die Elektrode umfassen, und ihre Wasserkühlung sind in Abb. 125 genauer

[1] Trans. Amer. electrochem. Soc. Bd. 60 (1931).

zu sehen. Abb. 126 zeigt einen mit der neuesten Fassung ausgerüsteten Ofen im Betrieb. Bisher mußte man die Klemmbacken um den Elektrodenmantel mit langen Schraubenschlüsseln lockern und, sobald die Elektrode um das gewünschte Maß herabgerutscht war, die Schrauben wieder fest anziehen, was bei der dem Herde entströmenden Hitze eine recht unangenehme Arbeit ist. Bei der vom Knapsacker Betriebsleiter

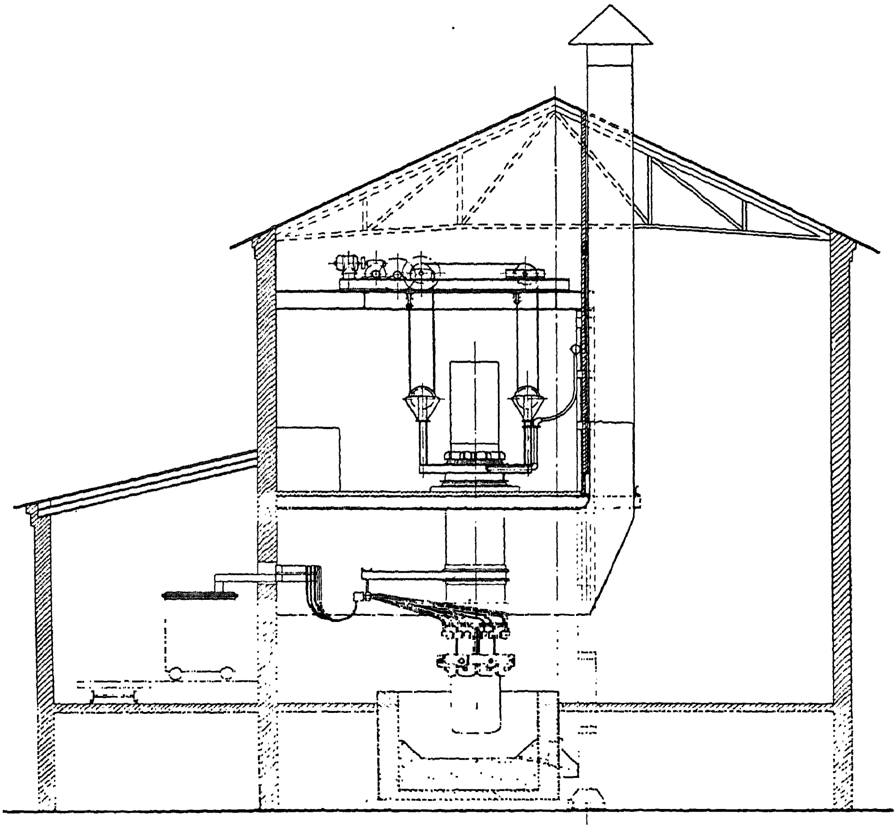


Abb. 122. Schema der Söderberg-Elektrode.

Brock erfundenen neuen Vorrichtung werden die Elektroden mit Hilfe von Preßluft nachgestellt. In guter Entfernung vom Ofen stellt man einen Hebel; dann löst die Preßluft die durch starke Federn angedrückten Backen ein wenig vom Mantel ab und die Elektrode beginnt zu sinken. Am Amperemeter erkennt man durch die emporschnellende Stromstärke, daß die Elektrode genügend gesenkt ist, und läßt nun durch Herumlegen des Hebels die Preßluft zischend entweichen; jetzt legen sich die Klemmbacken wieder fest um die gewaltige Elektrode.

Statt Preßluft kann man natürlich auch Druckwasser verwenden und man kann ferner die ganze Vorrichtung auch zum Nachstellen von gewöhnlichen Rundelektroden benutzen.

Bei Elektrostahlöfen, die zum Entleeren gekippt werden, pflegt man die Elektroden außerhalb des Ofens zu stampfen. Man arbeitet mit

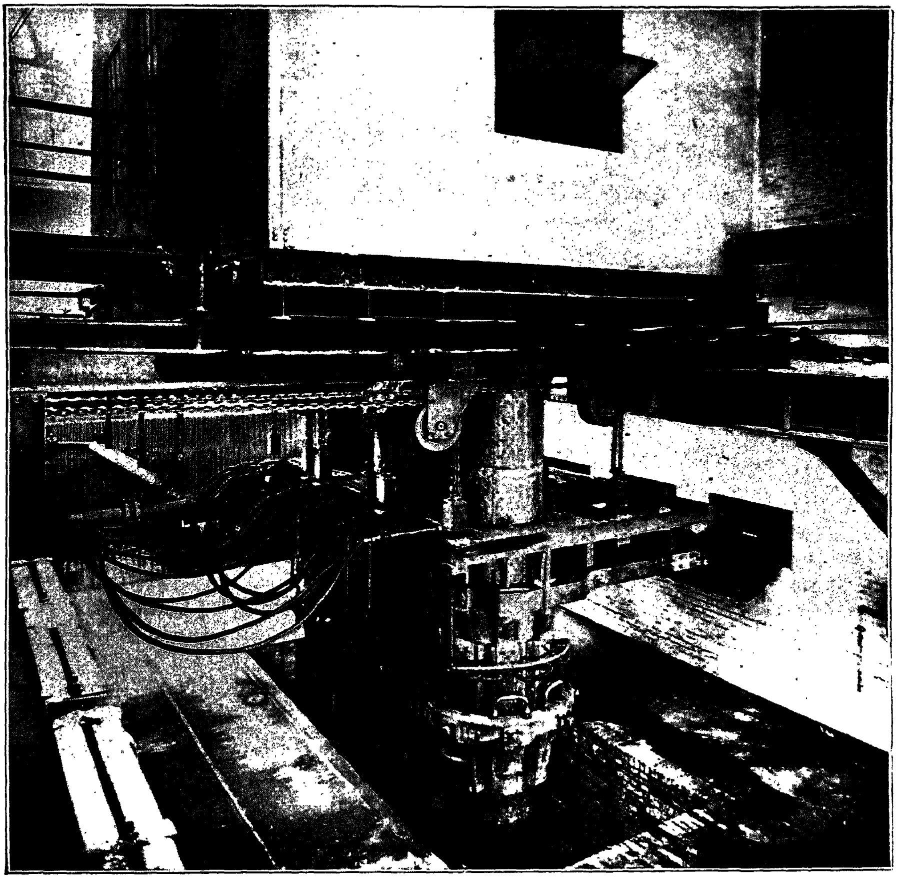


Abb. 123. Dreiphasenofen mit Söderberg-Elektroden.

2 Elektrodensätzen, die man in einer Betriebspause auswechselt. In Remscheid-Hasten wurden bei der oben erwähnten Prüfung 3,5 m lange Elektroden verwendet. Sobald unten 1,5 m abgebrannt waren, wurden die Elektroden ausgefahren und angestückt; weil die Masse oben noch weich war, verband sich die frisch aufgestampfte Masse gut mit ihr. Abb. 127 zeigt einen 6-t-Héroult-Ofen der Norwegischen Stavanger

Elektro-Staalverk A. S. in Betriebsstellung, Abb. 128 denselben Ofen in Kippstellung.

Ingangsetzen. Um die Söderberg-Elektrode das erstemal in Gang zu setzen, muß man ihren unteren Teil behelfsmäßig z. B. mit mäßigem Holzkohlenfeuer erhitzen, bis die Masse soweit erhärtet ist, daß die Elektrode angehoben und in den Ofen überführt werden kann. Dann fährt man den Ofen mit mäßigem Strom an; entsprechend dem fortschreitenden Garbrennen verstärkt man den Strom allmählich und nach

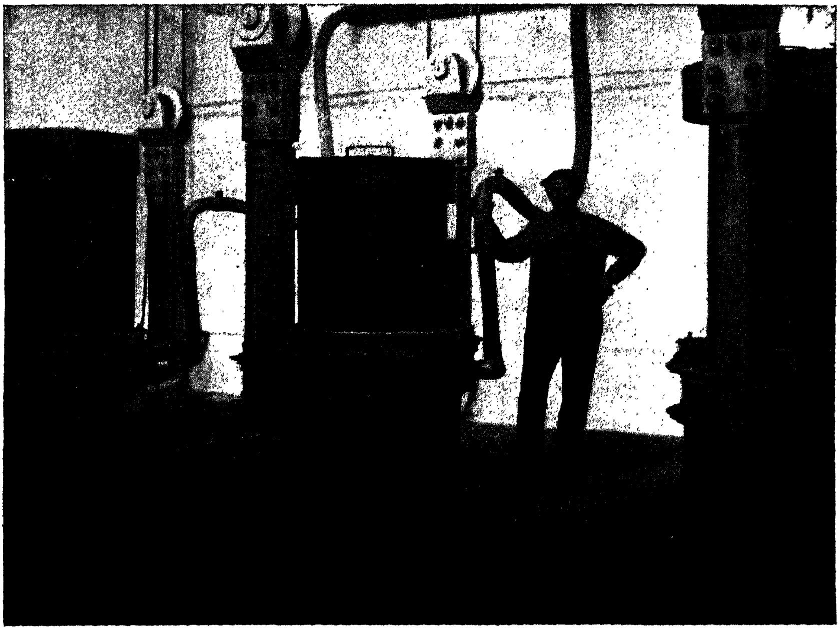


Abb. 124. Stampfraum der Söderberg-Elektrode.

24—48 Stunden darf man mit der gewöhnlichen Belastung arbeiten. Das Brennen der Elektrode geht hauptsächlich unterhalb der Fassung vor sich; man sieht hier aus den Löchern des Mantels Flämmchen herausbrennen. Als man in Fiskaa durch die Löcher Stifte in die Masse drückte, fand man oberhalb der Fassung die Masse noch ziemlich unverändert und auch unmittelbar unterhalb der Fasung noch verhältnismäßig weich. Nach dem Senken der Elektrode dauerte die Gasentwicklung aus ihr 3—4 Stunden. Für die Herstellung von 50%igem Ferrosilizium wurden damals auf 1 t 53 kg Elektrodenkohle gebraucht.

Elektrodenverbrauch bei der Söderberg-Elektrode. Der Ferromangan-Ofen in Anniston verbrauchte auf 1 t Ferromangan 28 kg Elektroden. Der Blechmantel der 813 mm dicken Rundelektrode wog bei 1,05 mm

Blechstärke auf den laufenden Meter 50 kg, während das Gewicht der Kohlenmasse auf dieselbe Länge 780 kg betrug. Nach je $2^1/_2$ Tagen

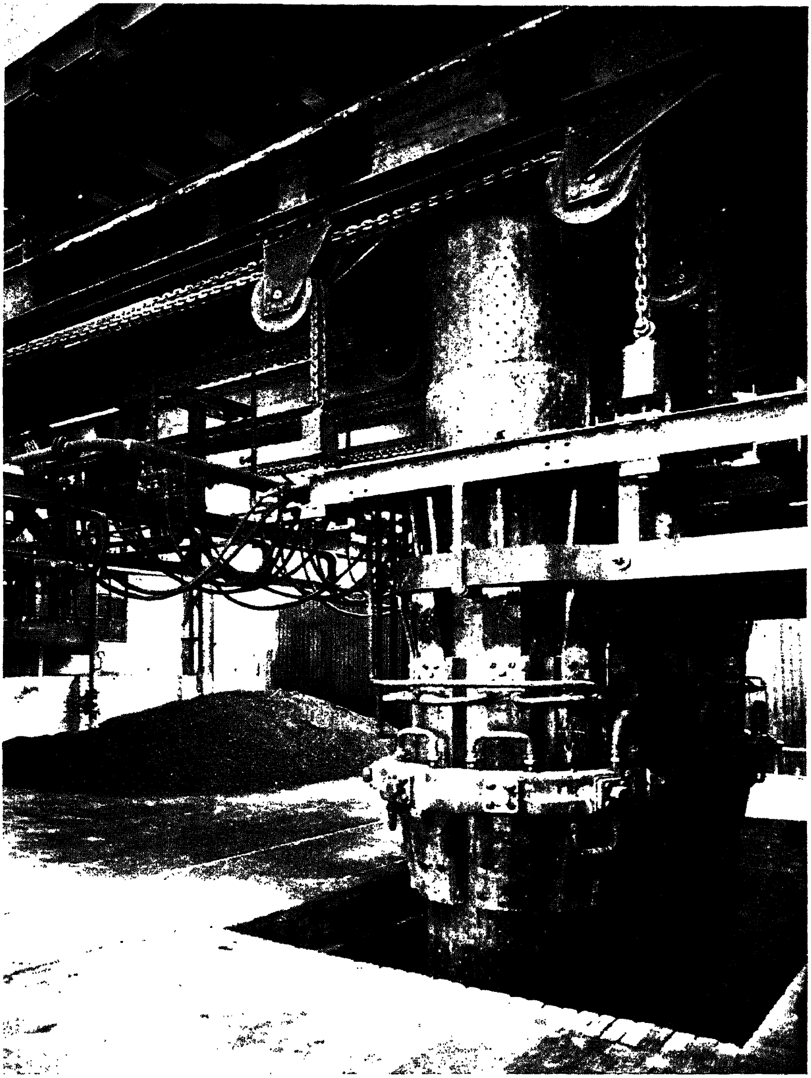


Abb. 125. Söderberg-Elektroden.

wurde angeschweißt und nachgestampft, wozu 2 Mann 8 Stunden brauchten. Der Elektrostahl-Ofen in Remscheid-Hasten verbrauchte

auf 1 t kalten Einsatz 13,5 kg, bei Hochleistungsbetrieb (2000 kVA statt [illegible] kVA), welcher das Einschmelzen nutzbringend beschleunigte, 16—17 kg Elektrodenkohle. Nach Angabe des Elektrostahlwerkes in Ugine (Savoien) wurden in den letzten Jahren (bis 1930) auf 1 t basischen Stahl durchschnittlich 18 kg rohe Elektrodenmasse verbraucht.

Bei einem italienischen Stahlofen, dessen Elektroden hochgefaßt waren, hatte man zuerst mit der Stampfmasse Schwierigkeiten, welche

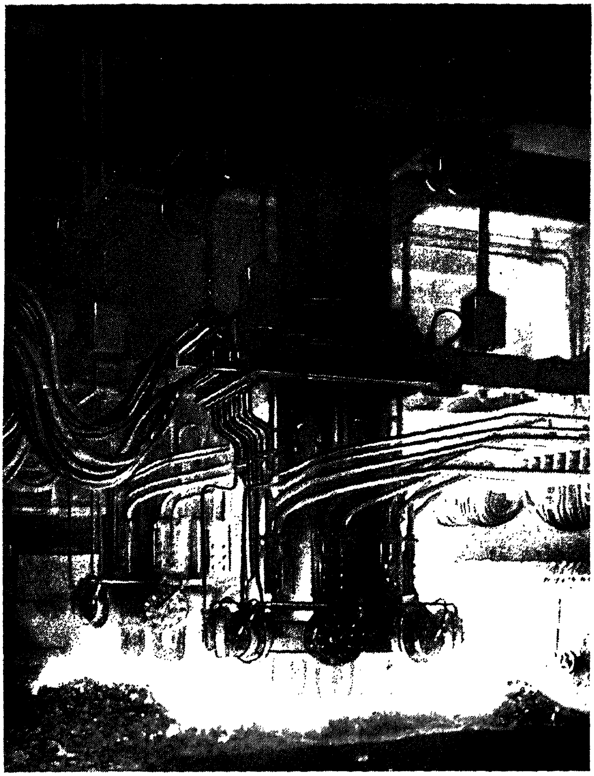


Abb. 126. Söderberg-Elektroden mit Preßluft-Fassung.

verschwanden, als man die Mischung änderte und die Stampftemperatur von 90 auf 120° erhöhte. Neuerdings hat man die Mischung so geändert, daß sie, wenn das obere Ende der Elektrode auf 70—150° gehalten wird, schmilzt und ohne Stampfen mit dem Kopf der Elektrode zusammenfließt. Diese wichtige Vereinfachung, daß man die Masse kalt einfüllt und sich das Stampfen erspart, wurde auf dem Badin-Werk der Aluminum Company of America ausgebildet.

In großen Einphasenöfen mit Bodenelektrode arbeiten jetzt Söder-

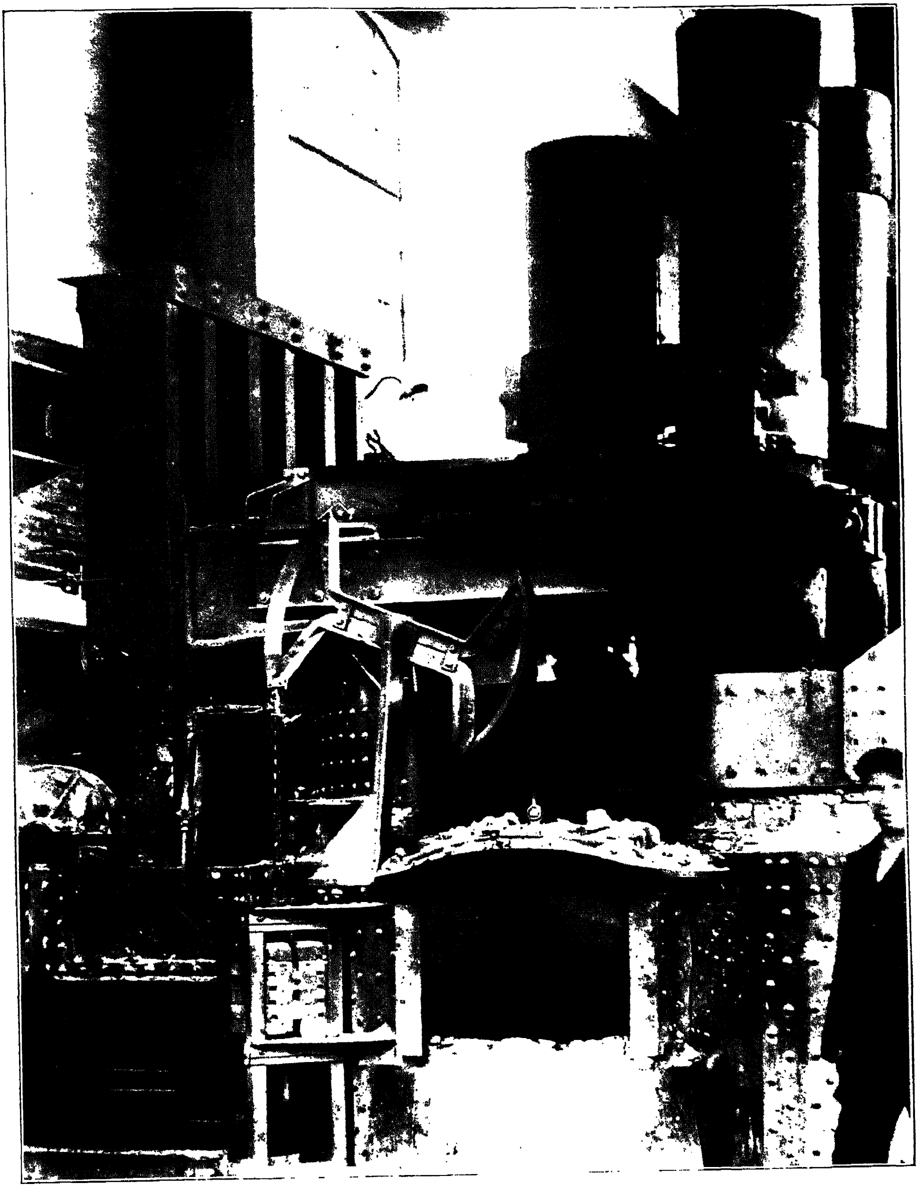


Abb. 127. Héroult-Ofen mit Söderberg-Elektroden.

berg-Elektroden von 2,2 m Durchmesser. In großen Dreiphasen-Öfen für 15000—22000 kW mit Elektroden, die im Dreieck angeordnet sind,

bewährten sich Durchmesser bis 132 cm; der Elektrodenverbrauch betrug in einigen Fällen nur 16—18 kg je Tonne Karbid von 300 Liter. Auch in einem spanischen Aluminiumwerk arbeitet die Söderberg-Elektrode. Allerdings bedingt ihre Verwendung eine um etwa 1 Volt höhere Badspannung, was bei der üblichen Spannung von nur 6—7 Volt einen wesentlich höheren Stromverbrauch bedeutet und bei nicht sehr

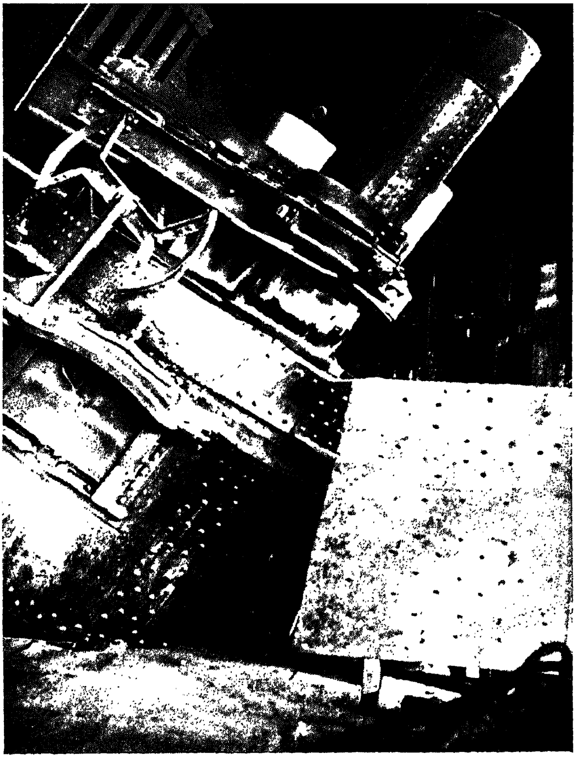


Abb. 128. Héroult-Ofen gekippt.

billigem Strom ein Hindernis ist. Um zu verhüten, daß durch den abschmelzenden Mantel der Elektrode das Aluminium mit Eisen verunreinigt wird (die Rechnung ergibt freilich nur einen geringen Betrag), kann man den Mantel aus Aluminiumblech herstellen.

Besonderheiten der Söderberg-Elektrode. Bei richtiger Vorbereitung der Mischung, richtigem Anstücken und guter Überwachung des Ofenganges arbeitet die Söderberg-Elektrode zu voller Zufriedenheit, wie ich selber festgestellt habe. Freilich ist es ganz selbstverständlich, daß diese selbstbrennende Elektrode zu ihrer Herstellung nicht weniger Sorgfalt verlangt als die auf alte Weise im Ringofen gebrannte Elektrode.

Der Anthrazit und der Koks müssen vorgeglüht, passend zerkleinert und mit dem nach Art und Menge genau bemessenen Bindemittel gut durchgemischt werden. In einem großen Werke, wo dauernd eine Mannschaft mit der Herstellung der Söderberg-Elektrode beschäftigt werden kann, lassen sich diese unumgänglichen Forderungen viel leichter als auf einem kleinen Werke erfüllen. Diese Werke fahren besser, wenn sie die Elektrodenmasse nicht selbst herstellen, sondern fertig beziehen, in Deutschland von der die Lizenz besitzenden Firma Dr. Albert Lessing in Nürnberg. Dann braucht man nur um das richtige Einstampfen bei

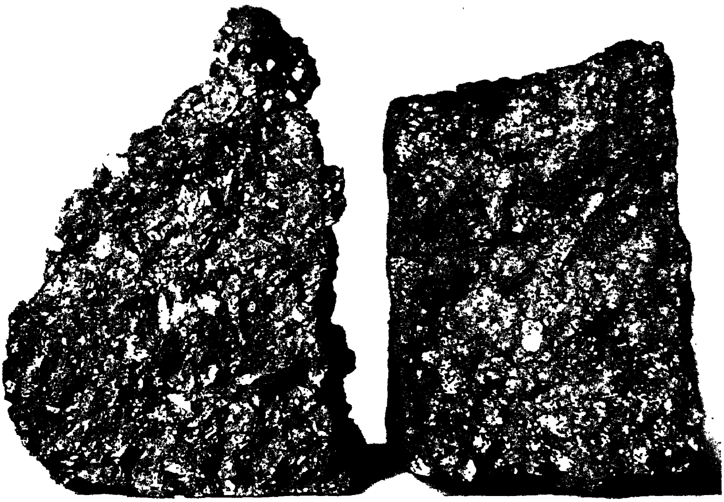


Abb. 129. Stücke von Söderberg-Elektroden. $^1/_3$ nat. Gr.

der vorgeschriebenen Temperatur besorgt sein. Abb. 129 zeigt rechts Stampfmasse, links ein gargebranntes Stück von einer Söderberg-Elektrode in $^1/_3$ nat. Größe.

In jedem einzelnen Falle muß die Werksleitung nach den besonderen Umständen entscheiden, ob sie die Söderberg-Elektrode verwenden oder einfach die fertigen Elektroden wie bisher aus einer Elektrodenfabrik beziehen will. Viele Verbraucher sind bei diesem alten Verfahren geblieben, womit aber nichts gegen die Güte der Söderberg-Elektrode gesagt sein soll. Der Vorteil der Söderberg-Elektrode, daß die Elektrode im Dauerbetrieb restlos aufgebraucht wird, läßt sich auch mit gewöhnlichen Rundelektroden erzielen, indem man das neue Stück oben mit Nippel anschraubt. Bei genügender Sorgfalt braucht man nicht zu fürchten, daß an der Verbindungsstelle die Elektrode bricht.

Nachstellen der Söderberg-Elektrode. Wenn es schon beim Arbeiten mit gewöhnlichen Elektroden wichtig ist, beim Nachstellen die Elektrode nicht zu tief in den Herd herabfallen zu lassen, so ist dies bei der Söderberg-Elektrode besonders wichtig, weil sonst der noch nicht genügend erhärtete Teil der Kohlenmasse unterhalb der sie festhaltenden Fassung geraten und dann der Elektrodenfuß abbrechen könnte. Bei der weiteren Ausbildung der Söderberg-Elektrode ist deshalb den Nachstellvorrichtungen mit Recht besondere Sorgfalt zugewandt worden. Die Alexander Wacker-Werke, München, haben auf ihrem Werk in Burghausen ein Verfahren ausgebildet, den Kopf der Elektrode an der Stampfbühne oder in der Dachkonstruktion festzuhalten, beim Nachstellen die nur durch verhältnismäßig schwache Federn angedrückte Backenfassung mit Hilfe einer Winde hochzuziehen und dann die Elektrode durch die Fassung hindurchgleiten zu lassen. Die Winde soll stark genug sein, um 50% Überlastung auszuhalten, wenn die Elektrode durch die Fassung hindurchgestoßen wird. Gewöhnlich gleitet die Elektrode schon bei 10—20% Zusatzgewicht.

Für diese nicht leichte Aufgabe, Elektroden von so hohem Gewicht (bei 102 cm Durchmesser und 5,5—7,3 m Länge 7—9 t und bei 76 cm Durchmesser schon 4—5 t) allein durch die Reibung zu bremsen und an der richtigen Stelle festzuhalten, ist es günstig, daß die Elektrode beim Garbrennen innerhalb der Fassung um etwa $^1/_2$% schrumpft. Der Durchmesser der Elektrode ist deshalb unterhalb der sie haltenden Fassung etwas kleiner als im grünen Anteil, so daß sich die Elektrode im Halter ein wenig zuspitzt. Dieses Zuspitzen kann man befördern, indem man Backen verwendet, welche unten die Elektrode etwas enger umfassen als oben. Dann kann die Elektrode, wenn die Fassung ein wenig gelöst ist, nicht glatt hindurchrutschen, sondern wird ganz langsam herabgleiten. Weil andererseits die Elektrode, indem sie während des Brennens sintert, an sich das Bestreben hat, langsam abzusacken, so sollte man durch passendes Bemessen des Druckes, mit welchem der Halter angepreßt wird, erreichen, daß die Elektrode sich selbsttätig nachschiebt. Tatsächlich konnte ein 5000-kW-Ofen auf diese Weise mehrere Jahre lang so arbeiten, daß 60—90% des Nachstellens von der Elektrode ganz selbsttätig ausgeführt wurden. Dies ist jedoch nur bei sorgfältigem Arbeiten möglich, weil man niemals die Reibung zwischen dem Halter und der Elektrode konstant halten kann. Außerdem ist es notwendig, ihre Oberfläche sauber zu halten. Der Elektrodenmantel ist deshalb ganz geschweißt, so daß weder Teer noch Pech durch die Hülle über dem Halter entweichen kann. Außerdem wird ein Staubschild angewendet, welches die Elektrode oberhalb des Halters umgibt und allen Staub fernhält.

Gewöhnlich darf man die Söderberg-Elektrode ohne Schaden auf

einmal um 30—45 cm senken; zweckmäßig senkt man sie aber nur um 15—25 cm. Eine sehr nützliche Vorrichtung, die Elektrode, sobald sie um den beabsichtigten Betrag gesunken ist, sicher aufzuhalten, wurde von S. A. Wisdom ersonnen und von den Shawinigan Chemicals, Inc., Shawinigan Falls, P. Q., Canada, ausgebildet. Sie besteht aus ein oder zwei starken 10—15 cm breiten Eisenbändern, welche am einen Ende aufgerollt sind und am anderen Ende an dem Elektrodenmantel durch Punktschweißung befestigt sind (Abb. 130). Wenn die Elektrode sich unten durch den Elektrodenhalter bewegt, um den Elektrodenverbrauch auszugleichen, so rollt sich das Band von *A* selbsttätig ab und tritt durch die Klammer *B* über zwei Reibungsrollen *C* und *D*. Durch diese dreifache Reibung ist der Zug auf das Band so vermindert, daß das ganze Gewicht der Elektrode leicht durch die Klammer *B* aufgenommen werden kann, wenn sie gegen das Band durch einen Exzenter gepreßt wird, welcher mit einem Hebel verbunden ist, an dessen Ende ein Gewicht hängt. Sobald die Elektrode gesenkt werden soll, wird ein Stück des Bandes von 15—20 cm Länge aus der Klammer *B* mittels des Hebels *C* herausgezogen. Dann kann die Elektrode 15—20 cm gleiten und wird, sobald das Band wieder gerade gespannt ist, selbttätig aufgehalten. Wenn der Halter richtig angepaßt ist, so gleitet die Elektrode sanft; falls das Gleiten stockt, so müssen 1 oder 2 Schrauben am Halter gelöst werden. Wenn eine Bandlänge verbraucht ist, so wird eine neue Rolle eingesetzt und ihr Ende an das alte Band angeschweißt. Die Wisdom-Bänder sind jetzt bei einer Anzahl von Öfen mit sehr gutem Erfolge angebracht worden. Die Einrichtungskosten für die Söderberg-Elektrode werden durch die Behelfsvorrichtung je nach der Größe der Elektrode und anderen Bedingungen um etwa 600—1200 M. erhöht.

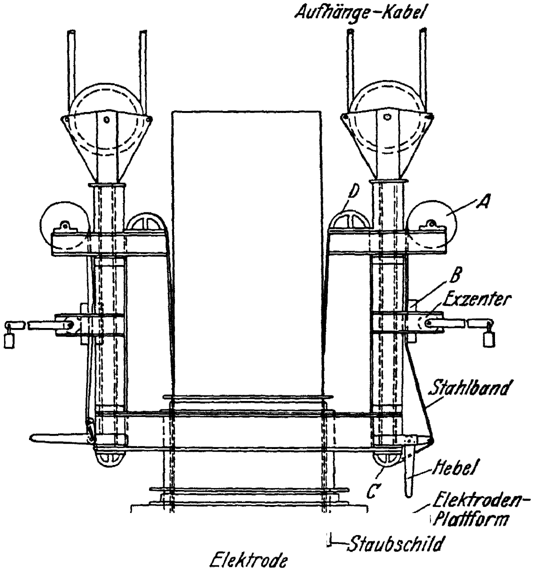
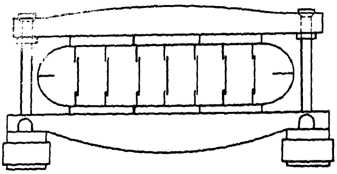


Abb. 130. Stellvorrichtung von Wisdom für die Söderberg-Elektrode.

Wassergekühlte Stromkabel. Ein weiterer Fortschritt, welcher auch sonst nützlich sein kann, war die Verwendung von biegsamen wassergekühlten Kabeln, welche gleichzeitig den Fassungen das Kühlwasser

zuführen, die mit 8 Ampere auf dem Quadratmillimeter, also 6—8mal so hoch als gewöhnliche Kabel, belastet werden dürfen. Indem man die biegsamen Kabel unmittelbar mit dem Elektrodenhalter verbindet, verkürzt man beträchtlich den unverschränkten Teil der Leitung und vermindert dadurch den induktiven Spannungsabfall. Gleichzeitig kommt man wegen der viel höheren Belastbarkeit mit viel weniger Leitungsmaterial aus. Unter gewöhnlichen Umständen bewegen sich die Kosten des Eisenmantels und des Einfüllens der Kohlenmischung zwischen 2,6 und 6 Pfg. je Kilogramm und die Gesamtkosten für den Betrieb der Söderberg-Elektrode zwischen 16 und 26 Pfg. je Kilogramm, abgesehen von den Lizenzgebühren. Die Ausrüstung eines Ofens von etwa 4000—6000 kW kostet im östlichen Teil der Vereinigten Staaten gewöhnlich zwischen 40000 und 60000 M.


Abb. 131. Söderberg-Elektrode von walzenförmigem Querschnitt.

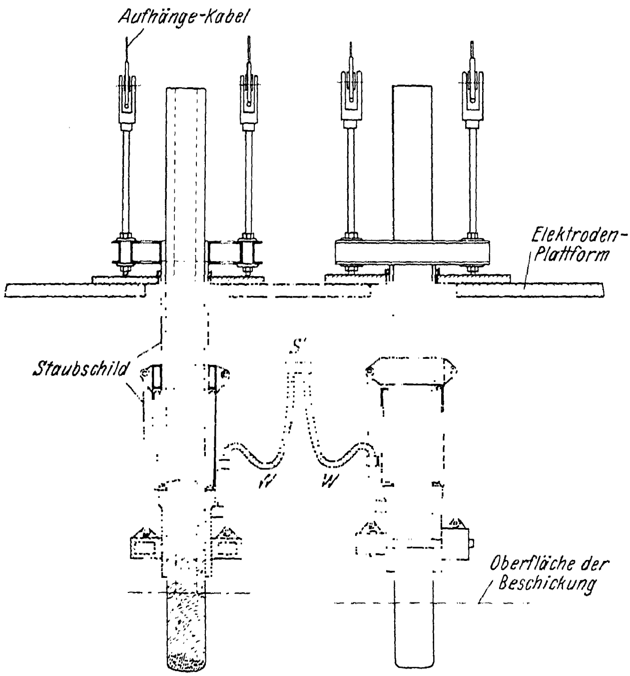


Abb. 132. Söderberg-Elektroden von länglichem Querschnitt.

Söderberg-Elektroden von länglichem Querschnitt. Vielfach werden beim Dreiphasen-Ofen Elektroden von länglichem Querschnitt verwendet, welche man aus gewöhnlich gebrannten Elektroden in Paketen zusammensetzt. Bei der Söderberg-Elektrode in dieser Form bestand die Schwierigkeit, daß durch das gewaltige Gewicht der bildsamen Masse der flache Eisenmantel oberhalb der Fassung ausgebeult wird. Man hat deshalb die gegenüberliegenden Rippen durch die Elektrode hindurch durch Blechstreifen verbunden, wie Abb. 131 zeigt. Diese Abbildung gibt auch gleichzeitig den Querschnitt des für diese Elektrodenform passenden Halters, welcher aus flachen Kontaktplatten auf jeder Seite

der Elektrode besteht; sie werden durch zwei wassergekühlte Stahlbalken gegen die Elektrode gepreßt. Diese Balken sind vor und hinter der Elektrode durch zwei schwere Bolzen verbunden, welche sich in Kugellagern bewegen. Die Bolzen sind hohl, werden ebenso wie das Gehäuse für die Kugellager mit Wasser gekühlt, sind von außen leicht zugänglich und werden durch Schraubenschlüssel mit Sperrklinke während der vollen Arbeit des Ofens verstellt. Abb. 132 zeigt zwei solche Elektroden in einem 4000-kW-Einphasenofen samt Staubschild und oberer Haltevorrichtung; bei *S'* enden die verschränkten Stromschienen an den wassergekühlten biegsamen Kabeln *W W*.

E. Graphitieren.

Entwicklung. Als vor bald 40 Jahren Edward G. Acheson im elektrischen Widerstandsofen durch Erhitzen eines Gemisches von Quarzsand und Kohlenpulver Siliziumkarbid gewann, fand er, daß in dem heißesten Gebiete des Ofens sich Graphit gebildet hatte. Bei sehr hoher Hitze zerfällt nämlich das Siliziumkarbid in seine Bestandteile, das Silizium verdampft und der als Graphit zurückbleibende Kohlenstoff bewahrt getreulich die Gestalt der Siliziumkarbid-Kristalle. Weil sich die Verunreinigungen größtenteils verflüchtet hatten, war der gewonnene Graphit sehr aschenarm. Auf Grund jener Beobachtung nahm Acheson an, daß die Gegenwart karbidbildender Oxyde für dieses Verfahren der Graphiterzeugung notwendig sei. Indessen genüge schon eine geringe Menge karbidbildender Beimengungen, um eine große Menge Kohle in Graphit überzuführen.

Schon 1849 hatte Despretz mitgeteilt, daß sich in der Hitze des Lichtbogens Anthrazit, Retortenkohle und andere Kohlenarten umwandeln, weich werden und auf Papier Striche wie natürlicher Graphit hinterlassen. 1870 hatte Berthelot beobachtet, daß die Spitzen der Bogenlampenkohlen sich beim Brennen mit Graphit bedecken. Moissan konnte bei seinen berühmten Versuchen im elektrischen Ofen durch einen Lichtbogen von 1200 Ampere und 80 Volt auch Zuckerkohle, Holzkohle und im Chlorstrom gereinigte Retortenkohle in Graphit überführen.

Die erste technische Anwendung unternahm Castner 1893. Er suchte seine Kohlenelektroden für Alkalichlorid-Elektrolyse besser leitend und chemisch widerstandsfähiger zu machen, indem er sie zwischen zwei sehr dicke Kohlenelektroden einspannte, mit Holzkohlenpulver bedeckte und einen Strom von etwa 75 A/cm^2 kurze Zeit hindurchschickte. Die flüchtigeren Stoffe entwichen und in wenigen Minuten war die Kohle graphitisch geworden. Girard und Street wählten 1896 eine andere Anordnung, um dünne Kohlenstäbe zu graphitieren. Sie führten den zu graphitierenden Stab *c* (Abb. 133) langsam durch die

Bohr... Köpfen der Elektroden s. Um den Mantel b des Heiz-
raum... Drahtspule gelegt: der sie durchfließende elektrische

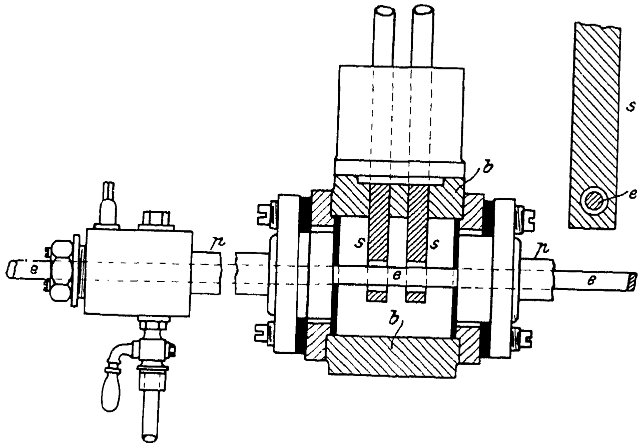


Abb. 133. Graphitierungsofen von Girard und Street.

Strom zwingt den Lichtbogen um den Kohlenstab zu kreisen, so daß dieser ringsum in Graphit verwandelt wird. Bei genügend hoher Strom-

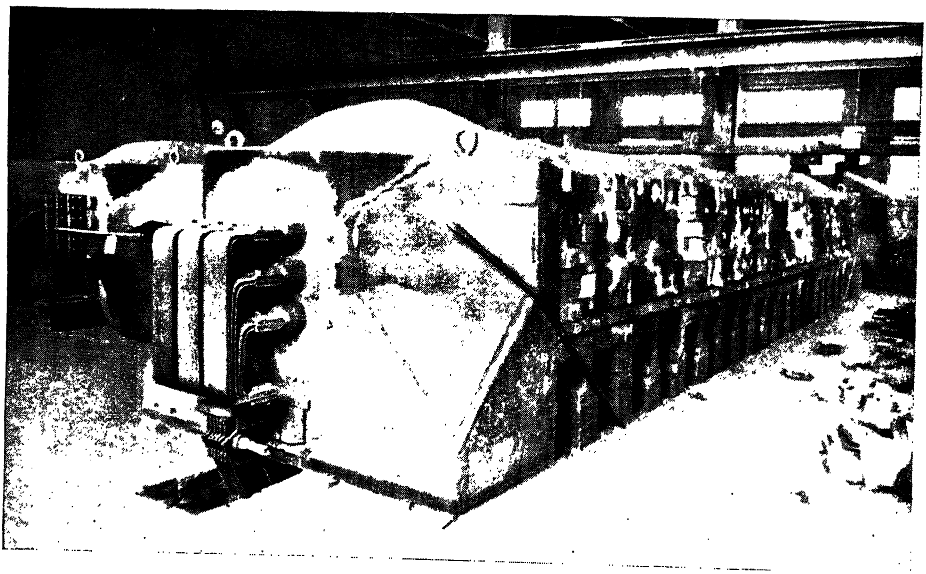


Abb. 134. Graphitierungsofen von Acheson.

stärke und genügend langsamem Vorrücken wird auch das Innere des Kohlenstabes graphitiert. Um den Luftsauerstoff fern zu halten, wird

Stickstoff, Wasserstoff oder ein anderes geeignetes Gas durch den Ofen geleitet. Die an den Heizraum anschließenden Räume p dienen zum Temperaturausgleich. In einem größeren Ofen der Société Le Carbone in Notre-Dame de Briançon wurden die Kohlen durch vier kreuzweis

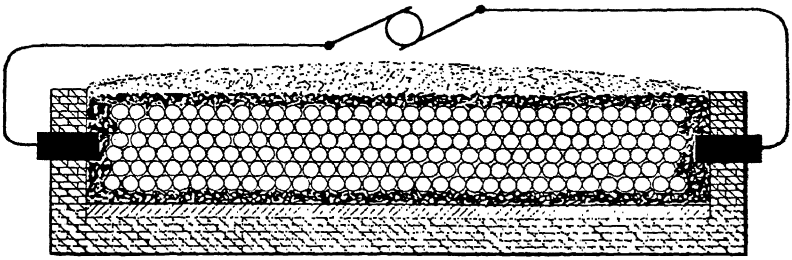


Abb. 135. Graphitieren von Stäben.

gestellte Elektroden hindurchgeführt. Der so gewonnene Elektrographit dient im besonderen zu Dynamobürsten.

Graphitierungsofen von Acheson. Der Graphitierungsofen von Acheson (Abb. 134) ist ein sehr langer, aus feuerfesten Ziegeln aufgemauerter Trog. Die Stirnwände des Ofens werden von den Elektroden durchsetzt. Zur Erzeugung von Pulvergraphit wird der Ofen mit zerkleinertem Anthrazit beschickt; um von Anfang an den Durchgang eines starken Heizstromes zu ermöglichen, werden die Elektroden durch einen Kern aus gut leitender Kohle miteinander verbunden. Wegen der hohen Leitfähigkeit der Beschickung muß man im Ofen für eine gute Unterbettung sorgen, welche den Boden gegen die gewaltige Hitze schützt; man verwendet hierzu z. B. Karborundum-Abfall. Als Decke gibt man Kohlengrus oder ein Gemisch von Sand und Kohle auf. Zur Graphitierung von Platten und Stäben bettet man diese als Heizkern in den Ofen, und zwar derart, daß ihr Querschnitt möglichst gleichmäßig vom Strom durchsetzt wird (Abb. 135) und füllt die Zwischenräume mit Kokspulver aus. Wenn Platten graphitiert werden, so trennt man die einzelnen Plattenstapel voneinander durch Kokspulver (Abb. 136), damit der elektrische Widerstand der Beschickung nicht zu klein wird und man noch mit der geeigneten Ofenspannung arbeiten kann.

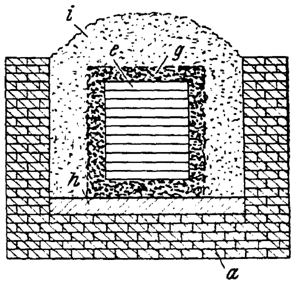


Abb. 136. Graphitieren von Platten.

Der erste Ofen Achesons wurde mit 100 kW belastet; 1897 wurde in seiner Graphitierungsanlage am Niagarafall ein Ofen zu 500 PS in

Betrieb [illegible] 1913 arbeiteten hier 20 Öfen, davon einige zu 2000 PS. Entsprechend dem hohen Anfangswiderstand der Beschickung fährt man mit hoher Spannung, z. B. 200 Volt, an und erniedrigt sie im Maße, als die Beschickung mit fortschreitender Erhitzung besser leitet, bis auf schließlich etwa 80 Volt. Sobald der Ofen ordentlich in Glut ist, hält man die Belastung mit Watt ungefähr gleich. Der Ofengang dauert etwa 24 Stunden. Sobald die Beschickung abgekühlt ist, baut man vorsichtig ab. Abb. 137 zeigt eine Reihe von Graphitierungsöfen.

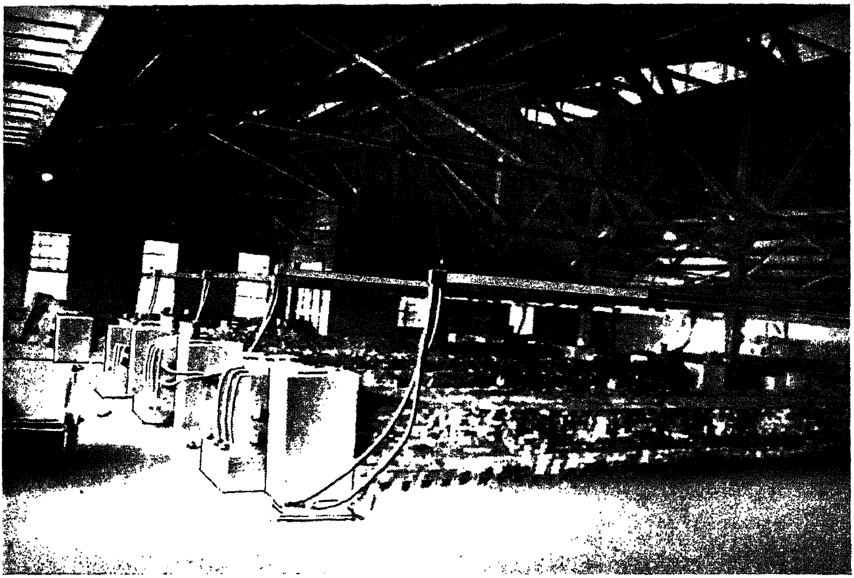


Abb. 137. Graphitierungsöfen am Niagarafall.

Während die im gasgeheizten Ringofen gebrannten Kohlenelektroden einen spezifischen Widerstand von mindestens etwa 30 Ohm, meist 60 Ohm oder mehr besitzen, wird durch das Graphitieren im elektrischen Ofen ihr Widerstand bis auf etwa 8—10 Ohm erniedrigt. Gleichzeitig sind die vorher wegen ihrer Härte schwer zu bearbeitenden Kohlen durch die Graphitierung so weich geworden, daß sie sich leicht schneiden lassen und auf der Drehbank mühelos mit scharfem Gewinde versehen werden können. Die chemische Widerstandsfähigkeit ist durch die Graphitierung außerordentlich vermehrt worden, so daß man in der Chloralkali-Elektrolyse ausschließlich graphitierte Elektroden verwendet.

Die Acheson Graphite Co, welche nach dem Weltkriege in die Union Carbide and Carbon Corporation aufging, erzeugte:

1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927
3700	3360	2680	5900	12300	5000	5500	9700	5600 t

Deutsche Graphitierungsanlagen. In Deutschland wird seit 1916 von Gebr. Siemens & Co., jetzt Siemens-Planiawerke, Elektrographit hergestellt, und zwar für elektrische Öfen Rundelektroden bis 400 mm Durchmesser bei 1200—1500 mm Länge, für die Elektrolyse Platten bis 35 × 160 × 1000 oder 30 × 203 × 1000 mm und Stäbe bis 100 mm Durchmesser bei 1000 mm Länge. Auch C. Conradty baute sich während des Krieges eine Graphitierungsanlage in Kolbermoor bei Aibling, für welche das Leitzach-Werk aus Wasserkraft den elektrischen Strom liefert. Siemens verlegte nach dem Kriege ebenfalls seine Graphitierungsanlage an eine Wasserkraft, nahe dem Lechwerk nach Meitingen bei Augsburg. Diese Anlage ist gegenwärtig die größte Graphitierungsanlage Europas.

Angaben über graphitierte Elektroden. Zahlentafel 19 enthält einige Angaben über die Elektroden der Acheson Graphite Co im Vergleich zu ihren ungraphitierten Elektroden.

Zahlentafel 19.

	Graphitelektrode	Kohlenelektrode
Scheinbare Dichte	1,59	1,56
Wahre Dichte	2,25	2,0
Spez. Widerstand	8,13 Ohm	32,5—25,1 Ohm
Oxydationstemperatur	640°	500°
Zugfestigkeit in der Längsrichtung	56—70 kg/cm²	70—105 kg/cm²
„ „ „ Querrichtung	35—42 kg/cm²	42—63 kg/cm²

Ich selber maß an einer graphitierten Platte von 25 mm Dicke einen spezifischen Widerstand von 6,8 Ohm, an einem Stabe von 16 mm Durchmesser 7,8 Ohm. Die Porosität der Platte fand ich zu 18 und 22%, die des Stabes zu 26%. Der Aschengehalt des Stabes betrug nur 0,12%.

Die Siemens-Planiawerke geben folgende Vergleichszahlen:

Zahlentafel 20.

	Graphit	Amorphe Kohle
Spezifisches Gewicht (g/cm²)	1,55—1,6	1,5—1,6
Spezifischer Widerstand (mm²/m)	8—12	32—120
Oxydationstemperatur an der Luft	700°	400—600°
Normale Stromdichte	15—20 A/cm²	5—7 A/cm²
Aschegehalt	unter 1%	etwa 5%

Wegen der glatten Fläche der graphitierten Elektroden ist der Übergangswiderstand zwischen Fassung und Elektrode geringer als bei nichtgraphitierten Elektroden. Alle diese Vorzüge bewirkten, daß trotz des etwa fünfmal höheren Preises (etwa 150 RM. je 100 kg gegen etwa 30 RM.) die Graphitelektroden auch in den elektrischen Öfen, besonders in Elektrostahlöfen, vielfach verwendet werden.

Einfluß der Rohstoffe. Bei der Graphitierung zeigen sich auffallende Unterschiede zwischen den verschiedenen Kohlensorten, wie schon W. C. Arsem[1] aus der Dichtezunahme beim Graphitieren feststellte. Arsem umgrenzt den Begriff Graphit als die Form der Kohle, welche die Dichte 2,25—2,26 besitzt. Nachdem er im Graphitrohr auf etwa 3000° 15 Minuten lang erhitzt hatte, fand er folgende Dichten:

Zahlentafel 21.

Kohlensorte	Dichte nach dem Graphitieren
Petrolkoks (0,1% Asche)	2,26
„ + 5% Fe_2O_3	2,22
Gießereikoks (5,7% Asche)	2,25
„ (10% Asche)	2,19
Anthrazit (6,5% Asche)	2,13
„ (0,2% Asche)	2,15
Lampenruß	2,09
„ + 5% Fe_2O_3	2,12
„ + 5% Al_2O_3	2,01
Retortenkohle weiß (0,34% Asche) . .	2,26
„ grau (2,66% Asche) . .	2,26
„ schwarz (0,23% Asche) .	2,11

Zu meinen eigenen Versuchen[2] verwendete ich den in Abb. 138 und 139 abgebildeten Versuchsofen. Die aus dickem Kupferband gebogenen Bänder *1* tragen die graphitierten Rundelektroden von 70 mm Durch-

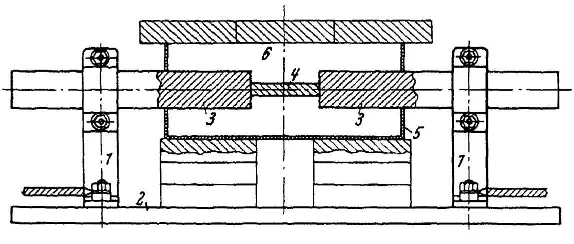


Abb. 138.

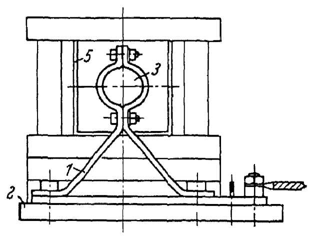


Abb. 139.

Versuchsofen für Graphitieren.

messer und führen ihnen den Strom zu; sie sind auf das eiserne Gestell *2* isoliert aufgeschraubt. Die aus den verschiedenen Kohlensorten geschnittenen Stäbe *4* wurden in einem kleinen Silit-Muffelofen bis 1200° vorgebrannt und dann zwischen die dicken Elektroden eingespannt. Weil beim Durchgang des Stromes die eingespannten Kohlen schrumpfen, so muß man den Abstand der Elektroden nach Bedarf ohne Stromunterbrechung verringern können. Zu diesem Zwecke ist nur die eine Elek-

[1] Trans. Amer. electrochem. Soc. Bd. 20 (1911) S. 105.

[2] Arndt, K., u. A. Pollack: Untersuchungen über Graphitierung. Z. anorg. allg. Chem. Bd. 201 (1931) S. 81.

trode festgeklemmt, die andere in ihrer Messinghülse verschiebbar, und zwar mit Hilfe eines leichten eisernen Rahmens, der um die beiden Elektroden gelegt ist (durch zwischengeschobene Asbestpappe isoliert). Die beiden langen Stangen des Rahmens sind mit Gewinde versehen; durch Anziehen der beiden Flügelmuttern wird die eine Schiene des Rahmens gegen den Kopf der beweglichen Elektrode gedrückt. Sobald nun das Amperemeter ein erhebliches Sinken der Stromstärke anzeigt, werden beide Muttern vorsichtig und gleichmäßig angezogen, bis der Strom wieder seine richtige Stärke hat. Der Kasten *5*, in welchen die Elektroden hineinragen, ist einfach aus Eisenblech gebogen und mit Asbest ausgekleidet; seine Stirnwände bestehen aus Asbestpappe. Nachdem die zu erhitzenden Kohlen zwischen die Elektroden genau zentrisch eingespannt sind, wird der Kasten bis oben hin mit feingekörntem Petrolkoks gefüllt, um Abbrand zu verhüten, und mit Schamottesteinen *6* zugedeckt. Der Ofenstrom wurde von einem Transformator mit 12 Volt geliefert. Diese Spannung konnte indessen nur selten voll ausgenutzt werden, weil die eingespannten Kohlenprismen bald zu gut leiteten. Die 70 mm dicken Elektroden konnten mit 600 A belastet werden. Falls die betreffende Kohlensorte zu bröcklig war, um daraus Stäbchen zu sägen, packten wir die Kohle in ein Kohlenrohr und spannten dieses als Heizwiderstand ein. Um die Temperatur im Ofen optisch zu messen, wurde ein Kohlenrohr radial eingesetzt, durch welches das erhitzte Stück gesehen werden konnte. Sehr hinderlich war bei dem Messen der hohen Temperaturen das Verdampfen der in der Asche enthaltenen Kieselsäure. Von ungefähr 1600° aufwärts füllten weiße Nebel das Rohr, verschluckten einen Teil der Strahlung und mußten deshalb unmittelbar vor der Temperaturmessung aus dem Rohr herausgeblasen werden. Ohne diese Vorsichtsmaßregel wurde mit dem Wannerpyrometer die Temperatur um 150 bis 200° zu niedrig gefunden.

Um den Fortschritt der Graphitierung zu verfolgen, wurde der spezifische Widerstand nach dem Erhitzen gemessen, und zwar, wenn es nicht möglich war, ihn an Stäbchen zu bestimmen, an Pulver von bestimmter Korngröße nach dem Verfahren, welches im nächsten Kapitel beschrieben werden soll. Zahlentafel 22 gibt einen Auszug aus unseren Zahlen.

In Zahlentafel 23 sind ferner die beim Graphitieren erreichten spezifischen Widerstände (Pulver!) und Dichten zusammengestellt.

Zahlentafel 24 zeigt schließlich, wie sich der Aschengehalt durch die Graphitierung verminderte.

Ganz merkwürdig verhielt sich die besonders leicht zu graphitierende Retortenkohle (grauer Schalengraphit). Während die anderen Kohlensorten schrumpfen, nimmt die Retortenkohle beim Übergang in Graphit auf etwa das 2—3fache ihres ursprünglichen Raumes zu. Abb. 140 zeigt

Zahlentafel 22.

Kohlenart	Versuchsdauer Stunden	Temperatur ° C	Spez. Widerstand am Stück Ohm	Spez. Widerstand am Pulver Ohm	Verhältnis beider
Langenbrahmanthrazit	2	1650	34	196	5,75
„	2	2150		140	
„	2	2450		112	
„	4	2480		104	
„	6	2460		100	
Anthrazit E_1	3	2120		128	
„	2	2450		92	
Anthrazit E_2	2	1650	34	175	5,15
„	5	1640	32	168	5,25
„	7	1640	29	159	5,5
„	9	1680	28	158	5,65
„	$2^1/_2$	2100		135	
„	2	2480		90	
„	2	2450		88	
Anthrazit S	2	1650	25	140	5,6
„	2	2440		82	
Petrolkoks	2	1650	35	174	5,0
„	5	1650	33	168	5,1
„	2	2000	25	130	5,2
„	2	über 2100	18	92	5,1
„	2	2470		62	
„	4	2480		51	
Gießereikoks	$2^1/_2$	über 2000	27	145	5,4
„	2	2450		52	
Gaskoks	2	1680	86	456	5,3
„	2	2430		98	
Holzkohle A	2	2100		295	
„	2	2480		220	
Holzkohle B	2	2490		210	
Retortenkohle	2	über 2300	10,8		
„	2	2450		48,5	

Zahlentafel 23.

	Spez. Widerstand Ohm	Dichte
Anthrazit aus Langenbrahm L .	100	2,08
Anthrazit aus England E_1 . . .	92	2,09
Anthrazit aus England E_2 . . .	88	2,10
Anthrazit aus Schottland S . . .	82	2,10
Petrolkoks aus Amerika	51	2,13
Gießereikoks	52	2,14
Gaskoks	98	2,05
Retortenkohle	49	2,18

Zahlentafel 24.

	Aschengehalt vorher %	Aschengehalt nachher %
Anthrazit aus Langenbrahm L .	1,3	0,15
Anthrazit aus England E_2 . . .	4,0	0,35
Anthrazit aus Schottland S . . .	5,8	0,45
Petrolkoks	0,1	0,05

ein solches Stäbchen vor und nach dem Erhitzen im Graphitierungsofen. In das Kohlenrohr lose eingefüllte Brocken von Retortenkohle füllen es nach dem Graphitieren völlig aus. Es ergab sich ein weicher metallglänzender flinziger Graphit.

Unterscheidung von Graphit. Über die Unterscheidung des Graphits von amorpher Kohle und seine quantitative Bestimmung herrschen verschiedene Ansichten. Berthelot versuchte die Trennung durch die Reaktion von Brodie zu erreichen. Durch Behandeln mit Kaliumchlorat und rauchender Salpetersäure wird Graphit in die unlösliche grün bis gelb gefärbte Graphitsäure verwandelt, während amorphe Kohle mit brauner Farbe in Lösung geht, Diamant gar nicht angegriffen wird. Später bildete diese Reaktion den Gegenstand vieler Untersuchungen, wobei man besonders versuchte, die chemische Natur der Graphitsäure aufzuklären. Durch zahlreiche Versuche mit verschiedenen Oxydationsmitteln stellte R. Vetter[1] fest, daß es unmöglich ist, Graphit und amorphe Kohle auf chemischem Wege quantitativ zu trennen, weil es tatsächlich zwischen Graphit und amorpher Kohle in chemischer Beziehung keine scharfe Grenze gibt. Vielfach wird deshalb die Ansicht vertreten, daß die amorphe Kohle nur einen Graphit von sehr feiner Verteilung darstellt, soweit es sich nicht überhaupt nur um hochmolekulare Kohlenstoffverbindungen handelt. Diese Ansicht stützt sich besonders auf Röntgenstrahlenanalysen, welche z. B. auch für Zuckerkohle, die auf 500° erhitzt war, das Röntgenbeugungsbild des Graphits gaben (Abb. 141). Weit deutlicher sind freilich diese Linien bei gutem Elektrographit (Abb. 142); bei großflinzigem Naturgraphit lösen sie sich in Punktreihen auf (Abb. 143). Wie die Aufnahmen der Abb 144 erkennen lassen, zeigt der deutsche Anthrazit aus Langenbrahm nach dem Erhitzen auf 600° (*a*) schon schwach die Graphitlinien, nach dem Erhitzen auf 855° (*b*) schon schärfer und nach dem Graphitieren (*d*) recht deutlich. Englischer Anthrazit (*c*) ließ schon vor dem Erhitzen die Graphitlinien erkennen. Im Bilde des graphitierten Petrolkoks (*e*) sind natürlich die Graphitlinien sehr schön ausgeprägt.

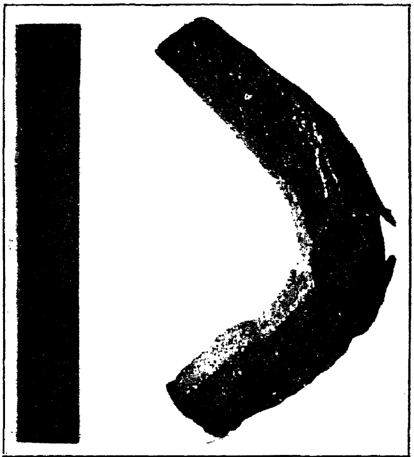


Abb. 140. Stäbchen aus Retortenkohle vor und nach dem Graphitieren.

[1] Dissertation der Berliner Technischen Hochschule 1916.

Kristallgröße und Röntgenschaubilder. Aus der Breite der Linien des Röntgenschaubildes läßt sich die Größe der Kristalle ungefähr berechnen. Die Interferenzen werden um so schärfer, je mehr reflektierende Ebenen, die der Braggschen Gleichung genügen, im einzelnen Kristallit übereinander liegen, je gröber also das Kristallkorn des untersuchten Stoffes ist. Bei einer Korngröße von nur 10^{-8} cm zeigen sich nur breite verwaschene Bänder; bei Kristallen, die über 10^{-3} cm groß sind, lösen sich die Interferenzlinien in Punkte auf; das zwischenliegende Gebiet umfaßt die Korngrößen der Graphitierung. Die zuerst abgeschiedenen Kristallkeime haben die geringe Größe von 10^{-7} cm, sie wachsen bis 1200° auf



Abb. 141. Röntgenbeugungsbild von Zuckerkohle.

10^{-5} cm an, um beim eigentlichen Graphitieren auf etwa 10^{-4} cm zuzunehmen. Mit der Kornvergröberung nimmt der elektrische Widerstand ab, weil die Zahl der Übergangswiderstände sich vermindert. Bei Temperaturen bis 1000° hat aber der sehr starke Abfall des Widerstandes seine Hauptursache in der Bildung von Graphit aus zerfallenden Kohlenstoffverbindungen, während der Einfluß der Kornvergrößerung erst bei höheren Temperaturen maßgebend wird.

In Zahlentafel 25 sind die aus den Aufnahmen abgeleiteten Größen der Graphitkristalle in μ ($^1/_{1000}$ mm) und daneben die von uns gefundenen Werte des spezifischen Widerstandes (Stäbchen!) angegeben.

Man sieht, daß im allgemeinen der wachsenden Kristallgröße die Abnahme des elektrischen Widerstandes entspricht.

Zahlentafel 25.

	Kristallgröße μ	Spez. Widerstand Ohm
Anthrazit L nicht erhitzt . . .	0,001	unmeßbar groß
L auf 600° erhitzt .	0,001	$17 \cdot 10^9$
L auf 855° erhitzt .	0,01 bis 0,1	1250
L auf 1200° erhitzt .	0,1	60
L auf 2460° erhitzt .	0,1 bis 1	etwa 25
E_1 nicht erhitzt . .	0,001	2700
E_1 auf 1200° erhitzt	0,01	40
Petrolkoks nicht erhitzt . . .	0,001	unmeßbar groß
„ auf 2480° erhitzt .	0,1 bis 1	etwa 10 Ohm

Wesen der Graphitierung. Die in der Technik als Graphitierung bezeichnete Umwandlung, welche die sogenannten amorphen Elektrodenkohlen im elektrischen Widerstandsofen erfahren, beruht also darauf, daß die bereits vorhandenen Graphitkeime von etwa 10^{-5} cm bis etwa 10^{-4} cm wachsen. In dem unteren Temperaturbereich, wo sich noch Kohlenstoffverbindungen zersetzen, kann man sich die Kornvergröberung als Anlagern von neugebildetem Graphit an schon vorhandene Kristallflächen vorstellen. Dabei wird vermutlich zunächst der Kohlenstoff an den Kristallflächen adsorbiert und dann werden die Atome in das Gitter eingelagert. Bei noch höheren Temperaturen kann, weil die Graphitabscheidung im wesentlichen beendet ist, das Wachstum der größeren nur auf Kosten der übrigen Kristalle vor sich gehen. Am einfachsten wäre es, anzunehmen, daß dieser Vorgang sich auf dem Wege über die Gasphase abspielt, daß also die kleineren Kristalle, welche einen höheren Dampfdruck besitzen, verdampfen und an den größeren verdichtet werden. Freilich ist der Dampfdruck auch bei der Graphitierungstemperatur von etwa 2400° sicherlich noch sehr gering.

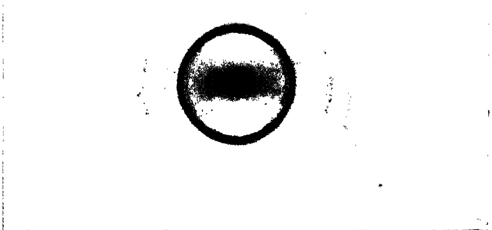
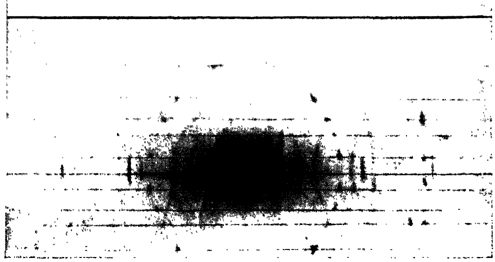


Abb. 142.



Ab 143

Abb. 142. Elektrographit.
Abb. 143. Großflinziger Naturgraphit.

Näher liegt es, den Graphitierungsvorgang ähnlich der Rekristalli-

sati[illegible] [illegible]ie zu deuten. Nach Tammann[1] vereinigen sich Kris[illegible] [illegible], wenn sie sich so berühren, daß das Raumgitter des [illegible]ortsetzung des anderen darstellt. Diese Lage kommt nur selten vor; im anderen Falle bilden sich nach Tammann neue Keime an der Berührungsstelle oder die Grenze verschiebt sich in einen der Kristalle hinein. Dieses Zusammenschweißen wird durch Temperatursteigerung begünstigt, da bei höherer Temperatur die Atome beweglicher werden. Wirkende Kraft ist die Oberflächenspannung, welche die Oberfläche der Kristalle auf ein Mindestmaß zu verkleinern sucht. Jedenfalls ist es notwendig, daß die Kristalle sich innig berühren; unter diesem Gesichtspunkte müßte die Kornvergröberung, in unserem Falle das dadurch bewirkte Fortschreiten der Graphitierung, durch fremde Stoffe behindert werden.

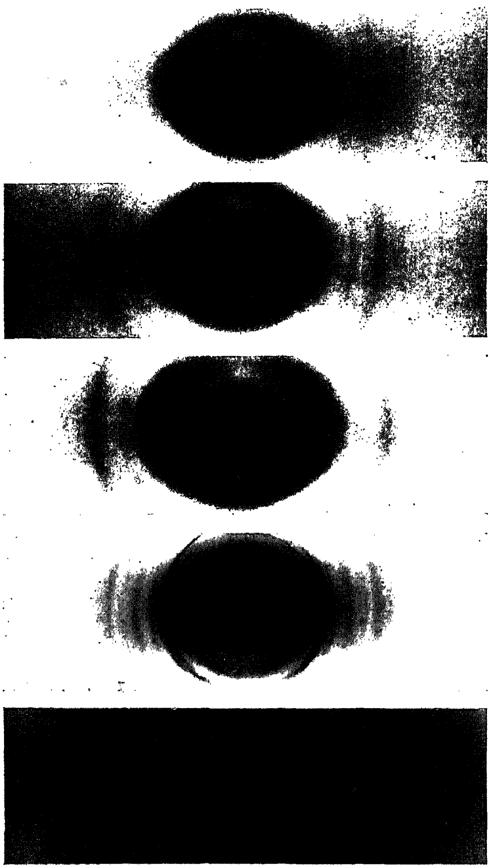


Abb. 144. Röntgenbeugungsbilder.
a Deutscher Anthrazit auf 600°, *b* auf 855°, *c* auf 2500° erhitzt, *d* Englischer Anthrazit, nicht erhitzt, *e* Petrolkoks, auf 2500° erhitzt.

Diese Ansicht steht mit der von Acheson in seinen grundlegenden Patenten vertretenen Annahme in Widerspruch, daß die Verwandlung von Kohle in Graphit über die Bildung und Wiederzersetzung von Karbiden vor sich geht. Für diese Karbidtheorie spricht die Tatsache, daß sich Ruß und ganz besonders der chemisch reine Azetylenruß nur außerordentlich schwer und sehr unvollständig graphitieren läßt. Wir fanden auch, daß Petrolkoks, dem durch Kochen mit Salzsäure seine Asche möglichst entzogen war, sich unter den gleichen Umständen schlechter graphitierte als der Petrolkoks mit seinem ursprünglichen Aschengehalt von 0,5% (davon 0,3% Eisenoxyd). Gegen die Karbidtheorie

[1] Tammann, G.: Lehrbuch der Metallographie, 3. Aufl., S. 107. Leipzig 1923.

läßt sich ins Feld führen, daß z. B. Anthrazit mit über 6% Asche (darin 2,3% Fe_2O_3, je 1,6% Al_2O_3 und SiO_2) sich sehr viel schlechter graphitierte, als der Petrolkoks mit nur 0,5% Asche. Das Gefüge des Anthrazits scheint für die Graphitierung nicht günstig zu sein.

*Für die praktische Verwendung ist es durchaus nicht nötig, die Elek*troden vollständig durchzugraphitieren. Im Gegenteil scheint ein etwas kleinerer Graphitierungsgrad für die Festigkeit und die chemische Widerstandsfähigkeit vorteilhaft zu sein. Durch Mischen des leicht graphitierbaren Petrolkoks mit dem schwer graphitierbaren Anthrazit konnten wir geformten Elektrographit mit ganz verschiedenem Graphitierungsgrad gewinnen. Durch zweistündiges Erhitzen auf 2400° wurde ein Gemisch gleicher Teile Anthrazit und Petrolkoks (mit 15% Pech und Teer als Bindemittel geformt und im Gasofen gar gebrannt) zu 60% graphitiert, während Petrolkoks für sich auf einen Graphitierungsgrad von 94% kam und der Anthrazit allein nur 22% erreichte. Schon Acheson selber sagte 1899, daß es in manchen Fällen ratsam sei, einen Teil des amorphen Kohlenstoffes unverändert zu lassen, weil ein Gehalt an solchem die Gegenstände fester mache.

Wie aus Zahlentafel 22 zu ersehen ist, erfordert die Graphitierung eine Temperatur von 2400—2500°. Unterhalb 2000° scheint auch sehr langes Erhitzen wenig auszumachen. Bei der richtigen Graphitierungstemperatur scheint man bei widerspenstigen Kohlensorten trotz langen Erhitzens an eine Grenze zu kommen, über die hinaus die Umwandlung nicht mehr recht vorwärts geht. So nahm bei den von uns behandelten Anthraziten nach den ersten 2 Stunden des Graphitierens der elektrische Widerstand nicht mehr wesentlich ab, trotzdem sie noch sehr unvollständig graphitiert waren und auch ihr Aschengehalt noch 0,15—0,35% betrug.

Die schlechte Graphitierbarkeit von Azetylenruß, welcher durch die explosive Zersetzung von Azetylen entstanden ist, wird wohl durch seine außerordentlich feine Zerteilung verschuldet, weil in dem lockeren Pulver die Berührung zwischen den einzelnen Teilchen zu gering ist, als daß sich größere Kristalle ausbilden können. Hier wäre eine Kornvergröberung wohl nur auf dem Wege über den Gasraum zu erzielen, wozu aber die Temperatur vermutlich weit über die technische Graphitierungstemperatur gesteigert werden müßte.

Achtes Kapitel.

Die physikalische Prüfung der Elektroden.

Allgemeines über die Prüfung von Kohlenelektroden. Nachdem die fertige Elektrode genau beschaut und beklopft ist, wird das Fabrikzeichen und die Fabrikationsnummer aufgemalt. Bevor sie versandt

wird, pflegt man ihren elektrischen Widerstand zu messen, der für die verschiedenen Elektrodenarten in bestimmten Bereichen liegen soll. An ausgewählten Proben pflegt man ferner im Betriebslaboratorium weitere Prüfungen durchzuführen, nämlich die Bestimmung der Porosität, die Ermittlung der Verbrennungstemperatur, das Wägen und Analysieren des Glührückstandes. Ich habe seinerzeit das Messen der Bruchfestigkeit und der Ritzhärte hinzugenommen, wozu ich mir für diesen besonderen Zweck die Vorrichtungen erst schaffen mußte; ferner ließ ich nach dem Vorbilde der Metallographie Schliffbilder herstellen, um aus ihnen das Gefüge zu beurteilen. Für die Untersuchung von Elektrolyseplatten kam später die Prüfung des anodischen Angriffes in einem geeigneten Elektrolyten hinzu. Die Aufnahme von Lichtbildern hat mir bis heute auch auf dem Gebiete der Elektrodenforschung wertvolle Dienste geleistet.

In den folgenden drei Kapiteln will ich die einzelnen Prüfungsverfahren eingehend besprechen und an eigenen Beispielen erläutern. Meist genügt es zur richtigen Beurteilung einer Elektrode nicht ohne weiteres, nur eine einzige Eigenschaft zu messen. Erst das Gesamtbild der Prüfungen gibt dem erfahrenen Fachmann die Unterlagen für ein sicheres Urteil, wie sich die Elektrode nachher im Betriebe bewähren wird. Vor allem aber ist gute Verständigung und dauernde Fühlung zwischen Verbraucher und Erzeuger notwendig, um für die betreffende Verwendung die besten Elektroden zu geben und sie — das ist auch sehr wichtig — in der richtigen Weise zu gebrauchen. Auch die vollkommenste Elektrode leistet in einem mangelhaften Betriebe nicht das, was man von ihr verlangt.

A. Das Messen des elektrischen Widerstandes.

Das elektrotechnische Maß für den spezifischen elektrischen Widerstand ist der Widerstand in Ohm einer Säule von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt. Mit dieser Einheit erhält man bei den Elektrodenkohlen sehr handliche Zahlen. Man pflegt, um den Widerstand zu ermitteln, den Spannungsabfall auf eine Strecke der Elektrode bei bestimmter Stromstärke zu messen. Weil der elektrische Widerstand der Kohle beim Erwärmen bedeutend abnimmt, so darf kein zu starker Strom durch die Elektrode geschickt werden.

Messen des Spannungsabfalles. Das einfachste wäre, an die Enden einer Elektrode, die gleichmäßigen rechteckigen oder runden Querschnitt hat, die Stromzuführungen anzulegen und zwischen diesen den Spannungsabfall mit einem Millivoltmeter[1] zu messen. Z. B. seien an die

[1] Man kann z. B. eines der üblichen Präzisionsinstrumente verwenden, das bei 60 mV einen Ausschlag von 150 Teilstrichen gibt; dann bedeutet 1 Teilstrich 0,4 mV. Bei einiger Übung kann man noch 0,1 des Abstandes zwischen zwei Teilstrichen sicher schätzen, also auf 0,04 mV genau messen.

Stirnflächen einer großen Ofenelektrode Metallplatten angepreßt und ein Gleichstrom von 100 A werde hindurchgeschickt. Der Spannungsabfall zwischen den Platten wird zu 60 mV gemessen. Daraus ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz der Widerstand

$$W = \frac{E}{J} = \frac{0{,}06}{100} = 0{,}0006 \text{ Ohm}$$

und der spezifische Widerstand wäre

$$0{,}0006 \cdot \frac{\text{Querschnitt im mm}^2}{\text{Länge in m}} = 0{,}0006 \cdot \frac{250000}{1{,}8} = 83 \text{ Ohm.}$$

Hilfselektroden. In dieser Auswertung der Messung steckt aber ein Fehler. Bei der gewählten Anordnung sind die Übergangswiderstände zwischen den Platten und der Kohle mitgemessen worden; der errechnete spezifische Widerstand ist zu hoch. Um diesen Fehler auszuschalten, welcher bei gutleitenden Elektroden viel ausmacht, muß man Hilfselektroden an die Kohle anlegen und auf der von ihnen begrenzten Länge den Spannungsabfall messen. Indem man den Abstand der Hilfselektroden voneinander ändert, gewinnt man mehrere Werte, welche, wenn die Messungen einwandfrei sind und die Kohle gleichmäßig ist, den gewählten Längen proportional sein müssen.

Falls der Kontakt zwischen Hilfselektrode und Kohle unvollkommen ist, so liest man einen zu kleinen Wert am Millivoltmeter ab und würde aus ihm einen zu kleinen Widerstand errechnen. In Wirklichkeit ist ja auch das Voltmeter ein Strommesser und sein Zeigerausschlag ist der Stärke des durch die Hilfselektroden vom Hauptstrom abgezweigten Stromes proportional. Falls also infolge erheblichen Übergangswiderstandes der Zweigstrom zu klein ist, so lesen wir an der Millivoltteilung des Instrumentes einen zu kleinen Wert ab. Dann sind natürlich auch die abgelesenen Spannungswerte der Entfernung zwischen den Hilfselektroden nicht mehr proportional, wodurch wir auf den etwaigen Fehler ungenügenden Kontaktes aufmerksam gemacht werden.

Widerstandsmessung an einer Blockelektrode. Was die Gestalt der Hilfselektroden anlangt, so wendet man in der Praxis oft Metallspitzen an, die man an die Elektrode fest andrückt. Um den Widerstand von Blockelektroden für Aluminiumbäder zu messen, stellte ich die Blockelektrode auf eine große Eisenplatte A (Abb. 145) und legte eine zweite Eisenplatte B oben auf, die ich mit einem 10-kg-Gewicht beschwerte. Wenn die Platten wegen Unebenheit der Kohle nicht ordentlich anlagen, so wurden Blechstreifen untergeschoben. Die untere Platte wurde mit dem einen Pol, die andere mit dem anderen Pol der Stromquelle (zwei tragbaren Akkumulatoren) verbunden. Als

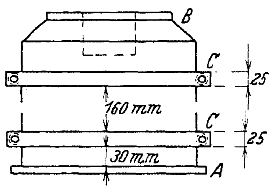


Abb. 145. Widerstandsmessung an einer Blockelektrode.

Hilfselektroden wurden zwei Paar Eisenschienen *CC* durch Schrauben angepreßt. Die Entfernung zwischen den Schienen betrug 160 mm. Als ich einen Strom von 22,4 A hindurchschickte, maß ich zwischen den Schienen einen Spannungsabfall von 3,24 mV. Weil der Querschnitt 800 cm^2 betrug, so berechnete sich hieraus der spezifische Widerstand zu 72 Ohm[1].

Widerstandsmessung an Kohlenstäben. Bei stabförmigen Elektroden, z. B. einer graphitierten Rundelektrode von 300 mm Länge und 40 mm Durchmesser, kann man einfach um die Enden des Stabes Schlingen aus dickem Kupferdraht und als Hilfselektroden ebenfalls Schlingen aus dünnem Kupferdraht fest herumlegen. Man darf hierbei aber die Hilfselektroden nicht zu dicht an die Elektroden setzen, weil der am Umfang zugeführte Strom sich nicht sofort gleichmäßig auf den ganzen Querschnitt verteilt. Es wurde so gefunden:

Länge	Stromstärke	Spannungsabfall
207 mm	9,90 A	11,31 m/V
150 „	9,90 „	8,22 „

Weil der Querschnitt dieses Stabes 1275 mm^2 beträgt, so errechnet sich aus der ersten Messung 7,03, aus der zweiten 7,05, im Mittel 7,04 Ohm als der spezifische Widerstand dieses Stabes.

Dieses Meßverfahren kann man auch im Laboratorium benutzen, um z. B. an kurzen Stäbchen, die man aus einer graphitierten Platte geschnitten hat, den spezifischen Widerstand zu ermitteln und aus ihm auf die Güte der Graphitierung zu schließen.

Widerstandmessung an kurzen Graphitprismen[2]. Als wir für eine elektrolytische Prüfung von Elektrographit kleine Platten von nur 6 × 6 cm Größe und 1 cm Dicke verwendeten, gestaltete sich das Messen des spezifischen Widerstandes schwieriger, weil das Verhältnis von Länge zu Querschnitt ungünstig klein war. Wir sägten uns Prismen heraus, die, um nicht allzu zerbrechlich zu sein, mindestens 1 cm^2 Querschnitt haben mußten. Um den Strom möglichst gleichmäßig dem ganzen Querschnitt zuzuführen, feilten wir die Stirnflächen der Stäbchen sorgfältig eben, glätteten sie und überzogen sie elektrolytisch mit einer

---

[1] Mit dieser Anordnung kann man auch den Übergangswiderstand zwischen dem eisernen Nippel, welcher oben in die Blockelektrode eingeschraubt wird, und der Elektrode prüfen, indem man den Spannungsabfall zwischen dem Nippel oder besser der an ihn geschraubten kupfernen Stange, mit welcher die Elektrode in das Aluminiumbad gehängt wird, und den Hilfselektroden mißt; wenn der Spannungsabfall zu hoch ist, muß der Nippel fester geschraubt werden. Weil der Strom vom Nippel in die Kohle sich anders (büschelförmig) verteilt, als wenn oben eine große Platte gleichmäßig aufliegt, so findet man hier den Spannungsabfall zwischen den beiden Schienenpaaren CC bei oberer Stromzufuhr durch den Nippel um etwa 10—20% geringer, darf also so den Widerstand der Kohle nicht messen.

[2] Bisher nicht veröffentlichte Dipl.-Ing.-Arbeit von Hira Lal Roy.

Kupferschicht von 0,02 mm Dicke, um einen möglichst guten Stromübergang von den anzulegenden Metallelektroden zum Stäbchen zu erzielen. Als Hilfselektroden preßten wir zunächst kegelförmige Spitzen an, bekamen aber mit ihnen für den spezifischen Widerstand unwahrscheinliche Werte, nämlich zwischen 5 und 5,3 Ohm, während wir an runden Stäben aus derselben Sorte Elektrographit 7—8 Ohm gefunden hatten. Außerdem stimmten die Einzelwerte nicht gut genug überein. Um den Übergangswiderstand durch eine größere Berührungsfläche möglichst auszuschalten, preßten wir nun als Hilfselektroden schmale Eisenschienen mit Schrauben an, bekamen aber jetzt unwahrscheinlich hohe Werte, die auch untereinander schlecht stimmten. Der Grund war, daß die Schienen nicht ganz eben am Graphit anlagen und deshalb die Entfernung zwischen den Innenkanten nicht gleich der Meßstrecke, sondern unbestimmt größer war, was hier bei der verfügbaren geringen Stablänge sehr viel ausmachte. Wir kamen zum Ziele, indem wir unter diese Schienen Streifen von dünnem Stahlblech legten, die an einer Längskante um etwa 1 mm rechtwinklig umgebogen waren. Indem wir isolierende Pappstreifen hinter diese Metallschneiden legten, erreichten wir, daß nur die Schneiden mit hohem Druck den Graphit berührten und einen tadellosen Kontakt in genau meßbarem Abstande gaben. Nun stimmten die Messungen. Abb. 146 erläutert diese Anordnung. Wir bekamen z. B. bei einer anderen Graphitsorte an einem Stäbchen von 172 mm² Querschnitt folgende Werte:

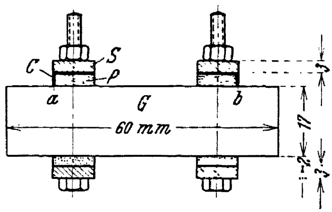


Abb. 146. Widerstandsmessung an kleinen Prismen.

Abstand	Stromstärke	Spannungsabfall	spez. Widerstand
45,5 mm	1,50 A	4,02 mV	10,23 Ohm
40,0 ,,	1,48 ,,	3,54 ,,	10,27 ,,

Es ergibt sich im Mittel als der spezifische Widerstand dieses Graphits 10,25 Ohm.

Widerstandsmessung an Pulver. Ein Nachteil dieser Widerstandsmessung an Stäben besteht darin, daß kleine Ungleichmäßigkeiten, z. B. die Poren und etwaige Risse im Innern, bedeutenden Einfluß auf das Ergebnis ausüben können; in solchen Fällen wird man wohl auch keine gut übereinstimmenden Einzelwerte bekommen und der Mittelwert würde willkürlich sein. Ganz allgemein und auch mit sehr kleinen Kohlenmengen läßt sich die Widerstandsmessung am Pulver ausführen. Um den hier sehr bedeutenden Übergangswiderstand auszuschalten, muß man die Elektroden mit einem sehr hohen Drucke von mindestens 100 at anpressen. Ich habe mir seinerzeit hierfür die Hebelpresse (Abb. 147) gebaut. Das Pulver wird in ein dickwandiges, innen und

außen glasiertes Porzellanrohr gegeben, in welches von unten und oben Messingstempel als Elektroden hineinragen. Der runde Kopf des oberen Stempels läßt sich emporschrauben, um den Hebelarm genau waagerecht zu stellen. Das dickwandige Porzellan widersteht Drucken bis über 150 at, ohne zu zerspringen, wenn sie senkrecht wirken. Bei schiefem Druck platzen leicht Stücke ab. Deshalb wird der obere Stempel in einem zur Isolierung mit Hartgummi ausgefütterten Ringe geführt und auch das Porzellanrohr erhält zweckmäßig eine Ringführung. Außerdem empfiehlt es sich, die innere Kante des Porzellanrohres ein wenig auszuschleifen, weil ein scharfer Rand leichter ausbröckelt. Die Länge meiner Porzellanrohre beträgt 110 mm, der innere Durchmesser 7 mm und der äußere Durchmesser 15 mm. Gemessen wird mit der Wheatstoneschen Brücke.

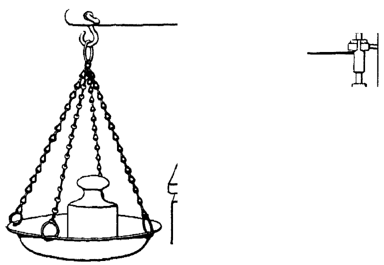


Abb. 147. Widerstandsmessung an Pulver.

Weil bei sehr gut leitendem Pulver von graphitierten Elektroden der Widerstand einer Säule von 7 mm Durchmesser und etwa 50 mm Höhe unter dem hohen Druck nur wenige Zehntel Ohm beträgt, so muß der Widerstand der Zuleitungen in Rechnung gesetzt werden. Man ermittelt ihn am einfachsten, indem man statt des Pulvers einen Messingzylinder zwischen den Elektroden preßt. Ebenso ist es nötig, beim Vergleichswiderstand den Einfluß der Zuleitungen zu berücksichtigen; es empfiehlt sich, ihn empirisch zu ermitteln, indem man mit zwei verschiedenen Vergleichswiderständen, z. B. 0,1 Ohm und 0,05 Ohm, mißt und die Größe x berechnet, die man zu 0,1 Ohm und zu 0,05 Ohm hinzuaddieren muß, damit sich der gleiche Wert für den gemessenen Säulenwiderstand ergibt. Beide Berichtigungen waren bei der benutzten Anordnung gewöhnlich 0,02—0,03 Ohm. Ferner muß man, um übereinstimmende Ergebnisse zu erhalten, das Pulver, welches man in mehreren Teilen mit Hilfe eines kleinen Glastrichters einträgt, vor dem Pressen mit einem Draht stochern; anderenfalls besitzt der untere Teil der Säule einen höheren Widerstand, weil der Druck sich in der Pulverschicht nicht gleichmäßig fortpflanzt und der Mittelteil der Säule leicht zu locker bleibt.

Brückenanordnung nach Wheatstone. Abb. 148 zeigt das bekannte Schema der Wheatstoneschen Brücke. S ist die Stromquelle, N das Nullinstrument (Telephon oder Galvanometer), w_1 und w_2 sind die durch den Schleifkontakt bei B abgeteilten Strecken des Meßdrahtes AC. Zwischen A und D ist der unbekannte Widerstand (in unserem Falle

die Säule des Pulvers), zwischen D und C der bekannte Vergleichswiderstand aus dem Stöpselkasten gelegt. Das Nullinstrument N zeigt keinen Strom an, wenn für die vier Widerstände die Proportion gilt

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4 .$$

Weil der Meßdraht auf seiner ganzen Länge gleichförmig ist, so sind w_1 und w_2 den abgeteilten Strecken AB und BC proportional. Dem bekannten Widerstand w_4, dessen Wert man am Stöpselkasten abliest, ist die oben erwähnte Berichtigung zuzuzählen, weil bei kleinen Widerständen der Widerstand der Zuleitungsdrähte und der Übergangswiderstand an den Klemmen nicht zu vernachlässigen ist. Selbstverständlich muß man darauf achten, daß alle Kontakte metallisch rein sind und auch die Stöpsel der Vergleichswiderstände ganz sauber sind. Man reinigt die Kontakte und die Enden der Kupferdrähte mit feinstem Schmirgelpapier. Die Stöpsel säubert man am besten durch kräftiges Reiben mit Filtrierpapier. Beim Einschalten der gewählten Vergleichswiderstände sorgt man dafür, daß alle am Ort befindlichen Stöpsel gut festsitzen; nach beendeten Messungen lockert man aber alle Stöpsel, weil sonst während der Ruhezeit bei sinkender Temperatur die Stöpsel sich klemmen und die Klemmbacken unnötig anstrengen würden. Unbenutzte Stöpsel lasse man nicht sorglos herumliegen, sondern lege sie auf sauberes Papier oder in eine saubere Schale und stecke sie nach dem Gebrauch gleich wieder in ihre Löcher.

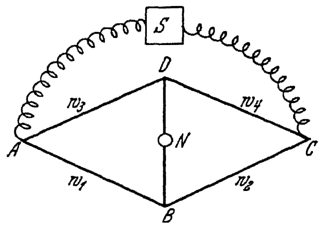
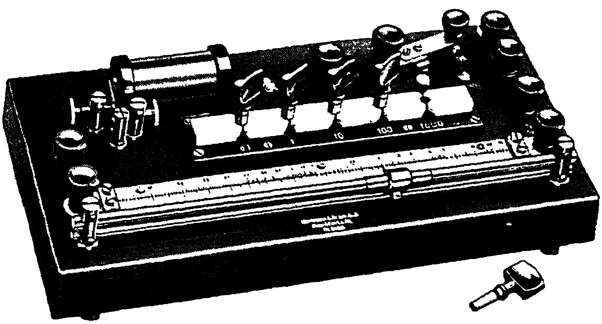


Abb. 148. Schema der Wheatstoneschen Brücke.

Kohlrausch empfiehlt, die Stöpsel von Zeit zu Zeit mit einem Lappen zu reinigen, der mit Petroleum befeuchtet ist.

Am bequemsten benutzt man eine fertig zu kaufende Brückenanordnung, z. B. die Universal - Meßbrücke nach Kohlrausch (Abb. 149). Man kann sich auch den ganzen Apparat aus einem Gefällsdraht, d. h. einem gleichmäßigen Draht, z. B. aus Manganin, der über eine Millimeterteilung gespannt ist und auf dem an einem Schlitten ein schneidenförmiger Kontakt gleitet, einem kleinen Induktorium, einem Dosentelephon und einem Kasten mit Stöpselwiderständen selbst zusammen-


Abb. 149. Meßbrücke.

stellen. Den Strom für das Induktorium liefert ein kleiner 2-Volt-Akkumulator. Statt mit Wechselstrom und Telephon zu arbeiten und aus dem Tonminimum die rechte Stellung der Kontaktschneide auf dem Meßdraht zu finden, kann man ebensogut den vom Akkumulator gelieferten Gleichstrom (wenn nötig unter Vorschaltung eines genügend hohen Widerstandes, damit der Meßdraht nicht heiß wird) der Meßbrücke zuführen und mit Hilfe eines empfindlichen Galvanometers auf die Stromstärke Null einstellen.

Einfluß der Korngröße. Indem man stets unter gleichem Drucke, z. B. 150 at, mißt, kann man verschiedene Sorten von Pulver auf ihre Leitfähigkeit vergleichen. Den Einfluß der Korngröße schaltet man aus, indem man stets eine bestimmte Korngröße zur Messung verwendet. Besonders wichtig ist es, das feinste Pulver auszuschalten. Ich verwende für meine Messungen den Anteil des Pulvers, welcher zwischen zwei Sieben von 3600 und 10000 Maschen auf den Quadratzentimeter bleibt; dem entspricht eine Teilchengröße zwischen 0,11 und 0,06 mm. In einem Falle z. B. fand ich für diesen ausgesiebten Teil einen spezifischen Widerstand von 111 Ohm, während der auf dem 3600-Maschensieb verbliebene Anteil des Pulvers 104 Ohm, dagegen der durch das 10000-Maschensieb gegangene Teil 154 Ohm hatte. Auf diese Weise bekamen wir z. B. für Pulver von einer Elektrolyseplatte aus Achesongraphit den spezifischen Widerstand von 54 Ohm. Indem man stets unter gleichen Umständen arbeitet, kann man auf diese Weise in weitem Umfange die verschiedensten Elektrodenkohlen miteinander auf ihren spezifischen Widerstand vergleichen. Der am Pulver gemessene Wert ist gewöhnlich 5—6 mal so groß, wie der an der festen Kohle gemessene Wert (vgl. Zahlentafel 22, S. 144).

Bestimmen des Graphitierungsgrades. Das eben beschriebene Verfahren, die Leitfähigkeit des Pulvers von ausgewählter Korngröße unter bestimmtem hohem Druck zu messen, gab mir die Möglichkeit, den Graphitierungsgrad von Elektrographit zu ermitteln. Dazu war aber erst alle nötige Vorarbeit zu leisten[1].

Zunächst verglichen wir verschiedene Sorten Elektrographit mit einem ausgezeichneten großblättrigen Madagaskargraphit, dessen Blättchen gegen 1 mm groß waren (vgl. Abb. 13 S. 23). Jedoch konnten wir ihn nicht ohne weiteres durch Mahlen zerkleinern; denn die Blättchen glitten aufeinander, ohne zerrieben zu werden. Wir mußten ihn erst mit scharfkantigem Quarzsand mengen und, nachdem er glücklich zerrieben war, den Sand durch viermalige Behandlung mit Flußsäure und dann noch durch Schmelzen mit Soda wieder beseitigen. Der zwischen den beiden Sieben von 3600 und 10000 Maschen verbleibende Anteil

[1] Arndt, K., u. F. Körner: Z. angew. Chem. Bd. 35 (1922) S. 440.

des Graphits zeigt nun den spezifischen Widerstand 54 unter 175 at Druck[1].

Andererseits hatten wir an Pulver von 6 Sorten Elektrographit folgende Werte des spezifischen Widerstandes gefunden.

A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
60	49	53	49	74	111 Ohm

Der Widerstand von *B*, *C* und *D* kommt dem des vollkommensten Naturgraphites gleich. Ich folgerte daraus, daß diese drei Sorten Elektrographit vollkommen durchgraphitiert sind. Des weiteren hatte ich für Pulver, das aus einer guten nichtgraphitierten Elektrode, einer Blockelektrode mit 1,7% Asche, stammte, den spezifischen Widerstand 263 gefunden. Ich betrachte nun diese Kohle als Anfangsglied und den Elektrographit *D* als Endglied des Graphitierungsvorganges. Wir mischten jetzt die Pulver von beiden Endgliedern und maßen für jedes Mischungsverhältnis den Widerstand. So bekamen wir die folgende Reihe.

Gehalt an Elektrographit .	0	10	20	30	40	50	60	80	100%
Spez. Widerstand	263	209	169	140	118	100	86	64	49

Abb. 150 gibt diesen Zusammenhang als Kurve wieder. Diese Kurve gibt nun umgekehrt die ersehnte Möglichkeit, aus dem elektrischen Widerstand einer im Graphitierungsofen verfeinerten Kohle auf den Grad der Graphitierung zu schließen. Z. B. maß ich für eine Elektrolyseplatte (gepulvert, ausgesiebt, unter 175 at) den spezifischen Widerstand 74; aus der Kurve lesen wir hierfür den Graphitierungsgrad zu 70% ab.

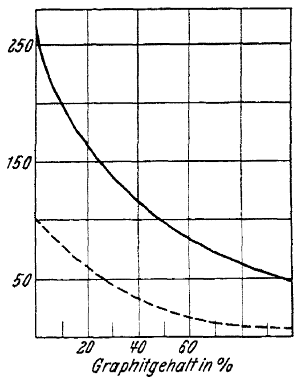


Abb. 150. Elektrischer Widerstand und Graphitgehalt.

Man kann natürlich auch an ganzen Kohlen den spezifischen Widerstand ermitteln und gleichzeitig an Pulver, das aus denselben Kohlen stammt, mittels des Widerstandes den Graphitierungsgrad ableiten; auf diese Weise bekam ich die gestrichelte Kurve der Abb. 150 und die Zahlen der folgenden Vergleichsreihe[2]:

Graphitierungsgrad	0	44	70	100%
Spez. Widerstand der Kohle selbst	70	29	14	8
Spez. Widerstand des Pulvers	263	111	74	49
Verhältnis beider	2,6	3,9	5,5	5,8

[1] Die Leitfähigkeit dieses besonders großflinzigen Naturgraphites war zu 17 gefunden worden. Dadurch, daß der mittlere Durchmesser der Blättchen auf etwa ein Zehntel verkleinert war, verdreifachte sich also der Widerstand.

[2] Arndt, K., u. W. Fehse: Z. Elektrochem. Bd. 28 (1922) S. 376.

Wenn die Porosität der betreffenden Elektrode ungewöhnlich groß oder gering ist, so weicht natürlich ihr Widerstand von den normalen Werten erheblich ab und es ist in jedem Fall sicherer, aus dem Widerstand des Pulvers den Graphitierungsgrad abzuleiten.

Ich spreche absichtlich vom Graphitierungsgrad und nicht vom Graphitgehalt; denn die Röntgenbeugungsbilder (Abb. 144, S. 148) haben ja bewiesen, daß auch die gewöhnliche Elektrodenkohle schon Graphit enthält, aber von zu geringer Teilchengröße, als daß die Eigenschaften des Graphites hervortreten. Gerade diejenigen Eigenschaften, welche praktisch besonders wichtig sind, nämlich die sehr gesteigerte Leitfähigkeit, die Weichheit usw., werden durch den nach meinem Verfahren ermittelten Graphitierungsgrad gekennzeichnet.

B. Das Messen der Porosität.

Um die Porosität von Elektrodenkohlen zu bestimmen, wägt man zweckmäßig ein nicht zu kleines, mindestens nußgroßes Bruchstück an der Luft (Gewicht G_1), dann bringt man es in einen Vakuumexsikkator, der mit soviel Wasser beschickt ist, daß das Stück ganz eintaucht und pumpt mit einer gut wirkenden Wasserstrahlpumpe so lange aus, als noch Luftbläschen aus den Poren entweichen, was etwa $^1/_2$ Stunde dauert. Wenn man nun wieder Luft eintreten läßt, so preßt der Luftdruck Wasser in die Poren. Nunmehr wägt man das Stück unter Wasser (G_2), und schließlich nochmals an der Luft (G_3), nachdem man die anhaftenden Wassertropfen durch Abtupfen mit einem Tuch entfernt hat. Das Gewicht des eingedrungenen Wassers $G_3—G_1$ ergibt den von den Poren eingenommenen Raum; der Auftrieb $G_3—G_2$ liefert das Gesamtvolumen. Dann ist die in Prozenten des Gesamtvolumens ausgedrückte Porosität

$$\frac{G_3 - G_1}{G_3 - G_2} \cdot 100 .$$

Aus diesen Wägungen kann man ferner die scheinbare Dichte finden; sie ist gegeben durch

$$\frac{G_1}{G_3 - G_2} .$$

Weil der von der Kohle selber eingenommene Raum gleich dem Gesamtvolumen weniger dem Porenvolumen ist, so ergibt sich die wahre Dichte zu

$$\frac{G_1}{G_3 - G_2 - (G_3 - G_1)} = \frac{G_1}{G_1 - G_2} .$$

Um das Kohlenstück an der Waage aufzuhängen, schlinge ich einen dünnen Nickeldraht fest herum; Nickel hat den Vorteil, daß es nicht rostet. Als Waage kann etwa eine Apothekerwaage mit einer Empfind-

lichkeit von mindestens 0,1 g dienen. Die eine Waageschale wird samt ihrem Bügel abgehängt und statt ihrer etwa ein Bleizylinder von gleichem Gewicht angehängt, in den oben und unten ein Haken aus starkem Eisendraht eingegossen ist. An den unteren Haken hängt man mit einer Schleife des Nickeldrahtes die Kohle an. Für das Wägen unter Wasser stellt man ein Glas mit Wasser unter, das so weit ist, daß die Kohle nirgends aneckt.

Z. B. bestimmte ich für ein Kohlenstück, das ich von einer Blockelektrode abgeschlagen und um die Feuchtigkeit zu verjagen, eine Stunde lang bei 105° getrocknet hatte (es verlor dadurch 0,2 g), das Gewicht an Luft samt Draht zu 252,2 g. Nachdem seine Poren mit Wasser gefüllt waren, wog es unter Wasser 121,2 g. Schließlich wog ich das mit Wasser gefüllte Stück an der Luft und fand nun das Gewicht zu 295,5 g. Der Aufhängedraht wog 1 g. Dann ist das Gewicht des die Poren füllenden Wassers $G_3—G_1 = 295{,}5—252{,}2 = 43{,}3$ g und der Auftrieb $G_3—G_2 = 295{,}5—121{,}2 = 174{,}3$ g. Also ist das Gesamtvolumen des Stückes 174,3 cm³, das Porenvolumen 43,3 cm³ und die Porosität $\frac{43{,}3}{174{,}3} \cdot 100 = 24{,}8\%$. Weil der Aufhängedraht 1 g wiegt, so bleibt für das Gewicht des Stückes selbst $G_1 = 251{,}2$ g; daraus folgt die scheinbare Dichte $\frac{251{,}2}{174{,}3} = 1{,}44$ und die wahre Dichte $\frac{251{,}2}{251{,}2 - 120{,}2} = \frac{251{,}2}{131{,}0} = 1{,}92$.

Naturgemäß berücksichtigt dies Meßverfahren nur diejenigen Poren, welche sich mit Wasser füllen. Nach außen abgeschlossene Poren sind für die Messung nicht vorhanden. Die wahre Dichte wird deshalb genauer an der gepulverten Kohle nach dem Schwebeverfahren bestimmt.

Verwendet man zum Füllen der Poren eine andere Flüssigkeit als Wasser, so können ganz andere Werte für das Porenvolumen herauskommen; z. B. erhält man mit dem die Kohle gut benetzenden und durchdringenden Toluol erheblich höhere Zahlen, z. B. 32 statt 27%. Bei Elektrolyseplatten kommt es jedoch gerade darauf an, wieviel von wässeriger Lösung in die Poren eindringt, also entspricht gerade die mit Wasser gemessene Porosität der Wirklichkeit.

Bei kleinen Kohlenbrocken soll man noch besonders darauf achten, daß beim Wägen in Wasser keine Luftblasen an der Kohle hängen, und muß sie etwa mit einer Gänsefeder abstreifen. Für sehr genaue Messungen wäre auch der Auftrieb des Aufhängedrahtes zu berücksichtigen und die Wassertemperatur zu messen.

C. Dichtebestimmung.

Dichtebestimmung nach dem Schwebeverfahren. Man bringt die fein gepulverte Kohle (eine ganz kleine Menge des für die Widerstands-

messung benutzten Pulvers genügt) in ein Gemisch zweier Flüssigkeiten von geeigneter Dichte, z. B. Toluol (Dichte 0,866) und Bromoform (Dichte 2,890) und ändert die Zusammensetzung des Gemisches solange, bis die Körnchen weder steigen noch fallen. Dann ist die Dichte der Kohle gleich der Dichte der Flüssigkeit, in der sie schwebt. Die Dichte der Flüssigkeit bestimmt man nun bei der gleichen Temperatur in einem Pyknometer, z. B. in dem Pyknometer nach Sprengel-Ostwald (Abb. 151). Zum Füllen taucht man die eng ausgezogene Spitze *a* in die Flüssigkeit und saugt durch einen an *b* befestigten Gummischlauch eine passende Menge ein. Dann hängt man das Gefäß mit seiner Drahtschlinge in ein Wasserbad von gleichmäßiger Temperatur so weit ein, daß nur die Arme *a* und *b* herausragen. Sobald die Flüssigkeit im Pyknometer die Temperatur des Bades angenommen hat (etwa nach 10 Minuten), kann man auf die am Schenkel *b* angebrachte Strichmarke einstellen, indem man entweder aus der Spitze *a* durch Abtupfen mit Fließpapier Flüssigkeit entnimmt oder, wenn zu wenig Flüssigkeit vorhanden ist, von einem an *a* gehaltenen Glasstab Tröpfchen durch die Kapillarkräfte einsaugen läßt. Dann hebt man das Pyknometer heraus, trocknet es ab und wägt gleich auf der chemischen Waage.

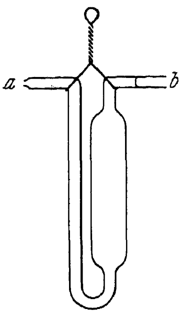


Abb. 151. Pyknometer.

Sehr sorgfältig muß man bei dem Schwebeverfahren darauf achten, daß alle Luft von den Kohlenteilchen beseitigt ist. Am besten setzt man das Gläschen mit dem Flüssigkeitsgemisch und dem Pulver in einen Vakuumexsikkator und pumpt aus, bis kein Bläschen mehr entweicht.

Ohne dieses Auspumpen ergab das Schwebeverfahren z. B. für Petrolkoks die Dichte 1,378, mit Auspumpen dagegen 1,388.

Im folgenden stelle ich einige Zahlen aus meinen Dichtebestimmungen zusammen.

	Dichte
Blockelektrode	1,96
Schlecht graphitierte Elektrode	2,06
Gut graphitierte Elektrode	2,10
Madagaskargraphit	2,28

Die Dichte des Madagaskargraphits wird durch seinen Aschengehalt erhöht.

Man könnte nach dem Vorgange von Arsem (siehe S. 142) die Dichte als Maß der Graphitierung benutzen; aber abgesehen von dem großen Einfluß des verschiedenen Aschegehaltes ist die Spanne im Dichteunterschied zu klein. Gerade in dieser Hinsicht ist die Widerstandsmessung an Pulver besonders günstig.

D. Die Festigkeit.

Fallapparat[1]. Die mechanische Festigkeit der Elektrode kann man prüfen, indem man mit dem Hammer eine Ecke abschlägt. Um die Bruchfestigkeit zu messen, habe ich während des Krieges, als ich die Bewirtschaftung der Elektroden leitete, einen Fallapparat ersonnen, bei

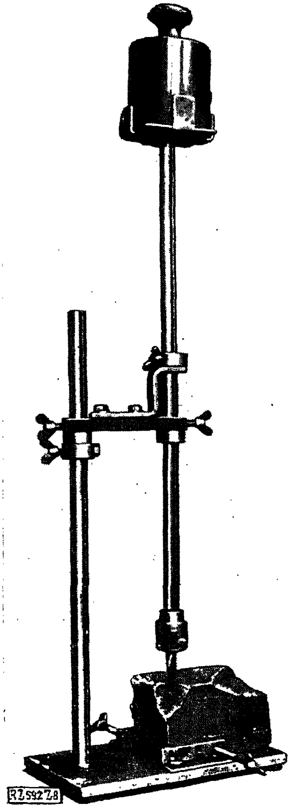
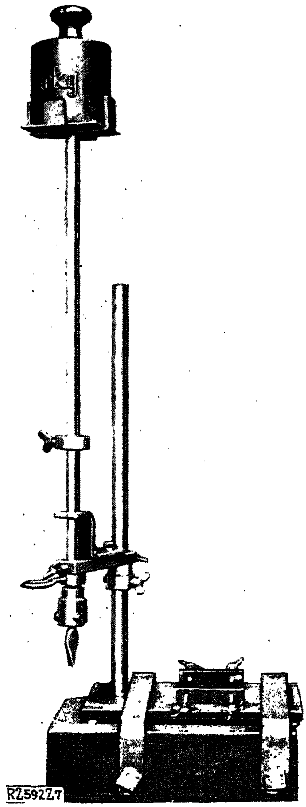



Abb. 152. Abb. 153.
Fallapparat zum Prüfen der Festigkeit.

welchem ein beschwerter Meißel eine genau abgegrenzte Ecke abschlägt (Abb. 152 u. 153). Ich fand es zweckmäßig, an der abzuschlagenden Ecke durch einen Kreidestrich ein gleichschenklig rechtwinkliges Dreieck, dessen Katheten 30 mm lang sind, abzugrenzen und auf die Mitte der Hypothenuse die schmale Schneide des Meißels stoßen zu lassen. Wenn

[1] Die Apparate zum Messen der Biegefestigkeit und der Schlagbiegefestigkeit von kleinen Kohlenstäben sind im Kapitel „Bürsten" beschrieben.

diese Entfernung von der Ecke genau innegehalten wird, so gibt das Produkt aus Fallgewicht und Fallhöhe ein brauchbares Maß, um die Festigkeit verschiedener Elektroden zu vergleichen. Bei richtiger Einstellung soll der erste Schlag eine Grube graben, der zweite Schlag einen Riß erzeugen und der dritte die Ecke abschlagen. Wenn die Wucht, mit welcher der Meißel auftrifft, zu groß ist, so springt schon beim ersten Schlag die Ecke ab; wenn die Wucht zu klein ist, so kann man meist beliebig oft den Meißel herabfallen lassen, ohne daß die Ecke abspringt (ebenso, wenn die Entfernung der Treffstelle des Meißels zu groß vom Rande gewählt wurde). Im allgemeinen habe ich für meine Vergleichsmessungen ein 10-kg-Gewicht verwendet und die Fallhöhe geändert; zu den 10 kg ist natürlich das Gewicht von Meißel, Stange usw. hinzuzuzählen, bei meinem Apparat 3,6 kg. Dieses Verfahren, eine Ecke abzuschlagen, hat den Vorteil, daß es auch in der Fabrik ohne weiteres angewendet werden kann und der Elektrode für die Verwendung nicht schadet. Bei der ersten und zweiten Ecke probt man die richtige Fallhöhe aus, so daß das Abschlagen der dritten Ecke den erhaltenen Wert sichert, vorausgesetzt, daß die Elektrode gleichförmig ist. Zweckmäßig wägt man die abgeschlagene Ecke noch und beschaut sich die Bruchfläche; bei sehr spröden Elektroden zersplittert beim Abschlagen die Ecke in mehrere Stücke, ebenso wenn die Elektrode zu mürbe ist. Bei einem solchen Fallversuch bestimmten wir z. B. an einer Abstichelektrode, daß bei einem aufgesetzten Gewicht von 10 kg die Fallhöhe 41 cm betragen mußte; beim ersten Stoß splitterte nur oben ein Stückchen ab; nach dem zweiten Stoß war ein Sprung sichtbar und der dritte Stoß schlug eine 43 g schwere Ecke ab. Weil das Fallgewicht 10 + 3,6 kg und die Fallhöhe 41 cm war, so bekomme ich als Maß der Bruchfestigkeit die Zahl 558. Bei gleicher Belastung, aber geringerer Fallhöhe war zwar nach dem 8. Stoß der Meißel 6 mm tief eingedrungen, aber auch der 10. Stoß sprengte noch keine Ecke ab. Bei einer Abstichelektrode anderer Herkunft genügte schon eine Fallhöhe von 20 cm, um eine etwa 100 g schwere Ecke abzusprengen; die Festigkeitszahl ergab sich hier zu 270.

Beim Gebrauch mindert sich durch den Einfluß der hohen Temperatur die Festigkeit der Elektrode. Bei der erwähnten Sorte Abstichelektroden von der Festigkeit 270 fand ich an einer gebrauchten Elektrode die Festigkeitszahl 148.

Die Festigkeit von Ofenelektroden ist lange nicht so groß, wie die von Abstichelektroden, die ja außerordentlich hoch mit Strom belastet und deshalb aus ganz besonders guten Rohstoffen angefertigt werden. Eine gute Karbidofenelektrode ergab mir z. B. die Festigkeit 80. Eine Probe von einer wegen ihrer geringen Haltbarkeit beanstandeten Sendung wies nur die Festigkeit 54 auf, die beim Gebrauch bis auf etwa 8 gesunken war.

Eine vorzügliche Ofenelektrode von feinkörnigem Gefüge zeigte die Festigkeit 170; daß sie spröde war, zeigte sich beim Fallversuch, indem sie splitterte.

Es ist nicht gleich, ob man etwa das 10-kg-Gewicht aus 20 cm Höhe oder ein 5-kg-Gewicht aus 40 cm Höhe herabfallen läßt. Wegen der Beschleunigung ist die Wucht des Stoßes (denn auf diese kommt es an, auf die kinetische, nicht die potentielle Energie) beim Fall aus größerer Höhe größer. Z. B. sprengte im obigen Beispiel das aus 40 cm Höhe herabfallende 5-kg-Gewicht beim 3. Stoß, das aus 20 cm Höhe fallende 10-kg-Gewicht erst beim 4. Stoß die Ecke ab und im ersten Fall wog die abgesprengte Ecke 140 g, im zweiten nur 100 g. Für Vergleiche und nur für solche ist ja das Verfahren bestimmt, soll man deshalb nicht Fallhöhe und Gewicht gleichzeitig ändern. Am bequemsten arbeitete ich mit den 10 kg.

E. Härte.

Das Messen der Ritzhärte.

Bei graphitierten Elektroden pflegt man mit dem Taschenmesser die Kohle einzuschneiden, um ihre Weichheit und damit die Güte der Graphitierung zu schätzen. In der Metallographie hat man zum Ermitteln der Härte neben der Brinellschen Kugeldruckprobe[1] den Ritz-

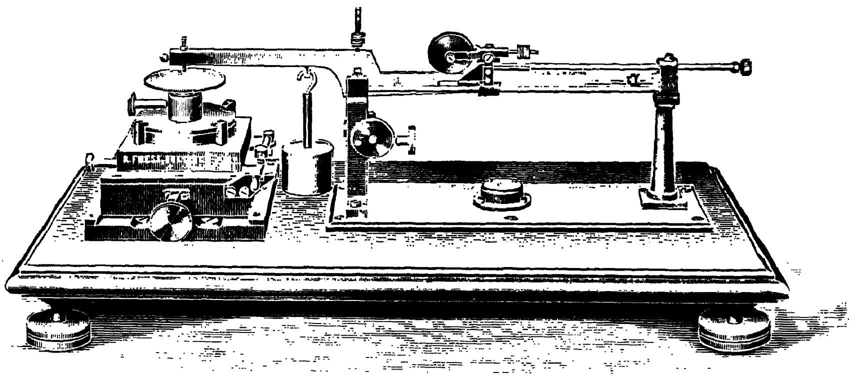


Abb. 154. Ritzhärtemesser nach Markus.

härteprüfer nach Martens gelegentlich verwendet. Er besteht aus einer kegelförmigen Diamantspitze, auf die mit Hilfe eines an einem Hebelarm verschiebbaren Gewichtes ein bestimmter Druck ausgeübt wird. Die Breite des von der Spitze auf der betreffenden Metallfläche erzeugten Ritzes ergibt ein Maß für die Härte der betreffenden Probe. Abb. 154 zeigt diesen zierlichen Präzisionsapparat, von dem sich ein Exemplar

[1] Über Härtemessung nach Brinell sehe man im Kapitel „Bürsten“ nach.

im Staatlichen Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem, befindet. Für meine Elektrodenprüfungen gab ich dem Ritzhärteprüfer eine handfeste Ausführung (Abb. 155). Er besteht aus einer konischen Stahlspitze am unteren Ende eines Stabes, welcher in einer Führung gleitet. Mit dem Hebel kann die Spitze kreisförmig um die Stange bewegt werden, indem man den Hebel am Ende mit dem Finger schiebt. Dabei darf aber der Hebel nicht angehoben oder heruntergedrückt werden, weil sonst die Belastung der Spitze in unbestimmbarer Weise geändert würde. Die Spitze mit dem Tisch wiegt 108 g; durch Aufsetzen von Gewichten kann die Belastung vergrößert werden. Die Breite des Striches wird unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung mit dem Okularmikrometer gemessen. Um den Strich auf der Kohle gut sichtbar zu machen, reibe ich vorher die betreffende Stelle mit Kreide ein; dann hebt sich die schwarze Furche von der weißen Fläche vorzüglich ab; auf glatten Graphitplatten ist sie ohnehin gut zu sehen. Indem man planmäßig auf der ganzen Fläche z. B. einer graphitierten Elektrolyseplatte Striche ritzt und deren Breite an verschiedenen Stellen mißt, erhält man eine größere Zahl von Einzelwerten, welche gleichzeitig einen Anhalt geben, ob die Härte überall auf der Platte ungefähr gleich ist. Beispielsweise erhielt ich auf einer Platte aus Achsongraphit folgende Zahlen in Teilstrichen des Mikrometers, von denen jeder bei der betreffenden Vergrößerung 0,07 mm entsprach.

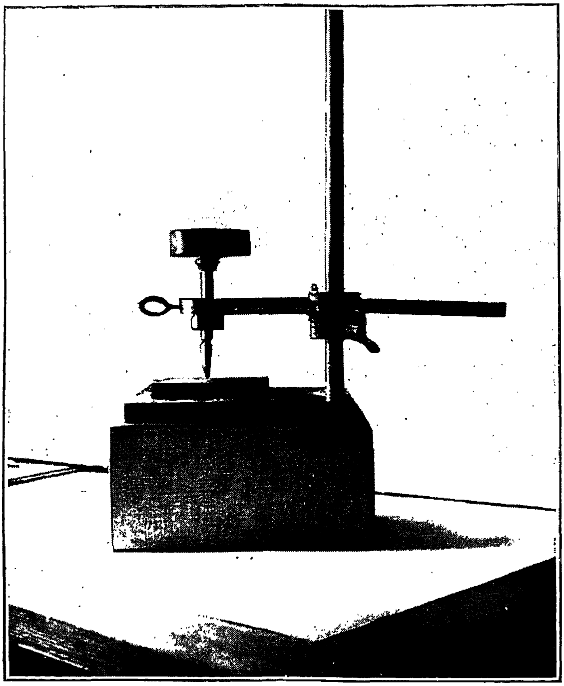


Abb. 155. Ritzhärtemesser nach Arndt.

3—4	4	4
5	4	3
4	3—4	4.

Der Konus der Stahlspitze hat einen Winkel von 60°. Die Belastung

betrug 117 g. Im vorliegenden Falle handelt es sich um einen Querschnitt durch die Platte; die erste und die dritte waagerechte Zahlenreihe entspricht der Graphitschicht, welche der Oberfläche naheliegt, die mittlere der Mittelschicht. Die Mittel der 3 Zahlenreihen sind 3,8, 4 und 3,8. Sie beweisen, daß die Platte gut und gleichmäßig durchgraphitiert ist.

Bei einer Platte anderer Herkunft, welche seinerzeit beanstandet worden war, ergaben sich für die obere Schicht und die untere Schicht des Querschnittes die Zahlen 2 und 3, für die Mittelschicht dagegen 4. Diese Platte war also nicht gleichmäßig, sondern außen erheblich härter als innen. Beim Gebrauch in den Bädern zeigen solche Platten manchmal anfangs recht gute chemische Widerstandsfähigkeit. Sobald aber nach einiger Zeit die Außenschicht abgefressen ist, nimmt der Angriff rasch zu. Es sei aber schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß es bei den Elektroden nicht so sehr darauf ankommt, daß sie möglichst wenig angegriffen werden, sondern vor allen Dingen darauf, daß sie sich möglichst gleichmäßig abnutzen. Ungleichmäßiger Angriff führt zumeist rasche Zerstörung herbei.

Ungraphitierte Platten ergeben bei gleicher Belastung des Ritzhärteprüfers einen etwa dreimal schmaleren Ritz als gut graphitierte Platten[1].

Bei Elektroden, deren Gefüge sich aus mehreren Bestandteilen zusammensetzt, bekommt man auch auf geschliffener Fläche zumeist keinen glatten gleichmäßigen Strich. Man zieht dann mehrere Striche und mißt auf jedem eine Reihe von Stellen. Indem man aus allen diesen Einzelwerten das Mittel nimmt, erhält man die durchschnittliche Strichbreite, welche die Ritzhärte der betreffenden Kohle kennzeichnet. Bei sehr grobem Gefüge kann man auf diesem Wege die Ritzhärte der verschiedenen Bestandteile, z. B. von Anthrazitbrocken und verkoktem Bindemittel, einzeln leidlich kennzeichnen.

Nicht unwesentlich ist, wie das Licht beim Messen der Strichbreite einfällt. Es soll längs der Furche einfallen, weil sonst durch ungleiche Beleuchtung der Böschungen die Messungen unsicher gemacht und gefälscht werden.

Was den Einfluß des Gewichtes, welches auf der Spitze lastet, auf die Strichbreite anlangt, so besteht kein ganz einfacher Zusammenhang. Bei einer gut graphitierten und entsprechend weichen Platte fand ich

[1] Die Mineralogen benutzen seit langem, um die Härte eines Minerals zu umgrenzen, die Härteskala von Mohs oder die etwas erweiterte Skala von Breithaupt: Talk, Gips, Glimmer, Calcit, Fluorit, Apatit, Hornblende, Feldspat, Quarz, Topas, Korund, Diamant. Für eine Platte ungraphitierter Kohle fand ich, daß sie Gips ritzt, ihrerseit nicht von Glimmer, wohl aber von Calcit geritzt wird; ihre Härte liegt also zwischen der des Glimmers und der des Calcits. Die graphitierte Platte wird von Talk nicht, aber schon von Gips geritzt.

für verschiedene Belastungen der Spitze, welche für sich samt Tischchen 108 g wog, folgende Werte:

Belastung	Breite des Ritzes	Mittelwert
108 g	5	5
108 + 100 g	7 8	7,5
108 + 200 g	9 10 11	10
108 + 400 g	12	12

Hier ist die Breite (in Teilstrichen des Okularmikrometers, deren jeder 0,07 mm entspricht) ungefähr der Quadratwurzel aus der Belastung proportional. Bei früheren Messungen an einer harten Abstichelektrode hatte ich dagegen einen viel geringeren Einfluß der Belastung gefunden:

Belastung	Mittlere Breite des Ritzes
245 g	3,4
745 g	4,2
1245 g	4,8
2245 g	5,2

Am besten arbeitet man nach Möglichkeit immer mit der gleichen und zwar tunlichst geringen Belastung der Spitze. Bei höherer Belastung muß man mehr Kraft aufwenden, um die Spitze vorwärts zu schieben, und die Ritze werden weniger gleichmäßig.

Neuntes Kapitel.

Die chemische Untersuchung der Elektroden.

Das Bestimmen des Aschengehaltes. Der Aschengehalt der Elektrodenkohle wird, nachdem man sie gepulvert hat, durch Verbrennen im Platintiegel, wenn nötig, unter Zuführung von Sauerstoff, bestimmt. Man darf zu Anfang die Temperatur nicht zu hoch steigern, damit die Asche nicht zusammensintert und unverbrannte Kohle einschließt. Bei den Kohlen, welche als Anoden zur Herstellung von Aluminium dienen, soll der Aschengehalt möglichst klein sein; die Asche soll vor allem möglichst wenig Eisen und Kieselsäure enthalten, weil diese Verunreinigungen aus der Elektrode in das Bad und aus diesem in das Aluminium übergehen. Als ich einmal an 11 Anoden den Glührückstand bestimmte, fand ich zwischen 0,84 und 1,16%, im Mittel 0,94% Asche. Dagegen können Ofenelektroden für Herstellung von Karbid unbeanstandet über 7% Asche enthalten, weil schon durch die Beschickung (Kalk und Koks) reichlich Aschenbestandteile dem Karbid zugeführt werden. Durch das Graphitieren wird der Aschengehalt der Kohle sehr stark vermindert, indem sich bei der sehr hohen Hitze die Verunreinigungen verflüchtigen; für 12 Sorten Elektrographit fanden wir die folgenden Aschengehalte:

Graphit Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Asche	0,37	0,07	0,18	0,02	0,05	0,06	0,12	0,17	0,02	0,15	0,21	0,13%
Graphitierungsgrad	80	100	100	92	100	100	92	80	83	75	68	85%

Im allgemeinen kann man also auch aus dem Aschengehalt einigermaßen auf den Grad der Graphitierung schließen.

Weil der Graphit schwer verbrennt, so verascht man den möglichst fein gepulverten Graphit am besten im Sauerstoffstrom. Man kann dazu einen Platintiegel verwenden, den man mit einem Rosetiegeldeckel bedeckt. Durch dessen Öffnung leitet man mit dem üblichen Porzellanrohr einen langsamen Sauerstoffstrom ein; man erhitzt zunächst vorsichtig und verstärkt nachher die Flamme. Öfteres Umrühren mit einem Platindraht oder besser mit einem weniger biegsamen Platiniridiumdraht befördert die Veraschung wesentlich. Die Menge des zu verwendenden Graphits wird man nicht unnötig hoch bemessen, damit die Verbrennung nicht allzu lange Zeit beansprucht. Am zweckmäßigsten nimmt man zunächst etwa 1 g für die vorläufige Bestimmung und nachher für die genaue Bestimmung und die Analyse der Asche etwa 10—20 g.

Analyse der Asche. Zur Analyse wird die Asche im Platintiegel mit Soda aufgeschlossen. Die Schmelze löst man bei bedecktem Tiegel vorsichtig in Salzsäure, spült in eine Porzellanschale über und dampft zur Trockne ein. Um die Kieselsäure unlöslich zu machen, erhitzt man im Trockenschrank etwa $^1/_2$ Stunde auf 120°, befeuchtet noch heiß mit einigen Tropfen starker Salzsäure (um basische Eisensalze zu lösen), löst dann in verdünnter Salzsäure und filtriert von der ausgeschiedenen Kieselsäure ab. Nach dem Auswaschen wird das noch feuchte Filter mit der Kieselsäure im Platintiegel verascht; der Glührückstand ist oft durch etwas Eisenoxyd bräunlich gefärbt und enthält auch noch Aluminiumoxyd und Kalziumoxyd in geringen Mengen. Zur genauen Bestimmung muß man deshalb die Kieselsäure mit reiner Flußsäure und einem Tropfen Schwefelsäure abrauchen und sie aus dem Gewichtsverlust bestimmen. Der Rückstand von der Kieselsäure wird in ein wenig warmer Salzsäure gelöst und mit dem Filtrat von der Kieselsäure vereinigt. Diese Lösung, welche Eisen, Aluminium, Kalzium und Magnesium enthält, wird, wenn nötig, etwas eingeengt und nach Zufügen eines Tropfens Methylorange als Indikator mit Ammoniak ganz schwach alkalisch gemacht. Das in der Wärme ausgefällte Eisen- und Aluminiumhydroxyd wird abfiltriert, geglüht und gewogen. Um Eisen und Aluminium zu trennen, verwende ich gern Nitroso-β-Naphthol nach dem Verfahren von Ilinski und v. Knorre[1]. Weil dies sehr brauchbare Verfahren viel zu wenig bekannt ist, will ich es kurz beschreiben. Zunächst bringt man das Gemenge von Fe_2O_3 und Al_2O_3 durch Erwärmen mit starker Salzsäure wieder in Lösung, was keine Schwierigkeiten

[1] Ber. dtsch. chem. Ges. Bd. 18 (1885) S. 2730.

mach[illegible] nicht zu stark geglüht hat. Dann engt man auf dem Wasserbade ein und versetzt mit so viel Ammoniak, daß ein geringer Niederschlag entsteht, welcher mit einigen Tropfen Salzsäure wieder gelöst wird. Darauf fügt man zur kalten Flüssigkeit das gleiche Volumen 50%iger Essigsäure und einen Überschuß von Nitroso-β-Naphthol, welches in 50%iger siedender Essigsäure gelöst ist, unter Umrühren hinzu. Nach sechs- bis achtstündigem Stehen filtriert man das ausgeschiedene Ferrinitrosonaphthol ab, wäscht zuerst mit kalter 50%iger Essigsäure, darauf mit kaltem Wasser aus, bis ein Tropfen des Filtrates, auf dem Platinblech verdunstet, keinen feuerfesten Rückstand mehr hinterläßt. Gewöhnlich genügt drei- bis viermaliges Auswaschen; bei erheblichem Überschuß von Nitrosonaphthol läuft das Waschwasser bis zuletzt schwach gelb ab, was aber das Ergebnis nicht beeinträchtigt. Der Niederschlag wird mit dem Filter noch feucht in einem bedeckten Platintiegel erhitzt und, wenn keine brennbaren Gase mehr entweichen, bei offenem schräggestelltem Tiegel verascht. Der Rückstand ist schön rotes Eisenoxyd.

Als Beispiel für die Zusammensetzung der Asche führe ich die Analysen von zwei Elektrographiten an, von denen der eine 0,373 g, der andere 0,165 g Glührückstand gab.

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO
0,077	0,143	0,046	0,063	0,002%
0,008	0,015	0,015	0,081	0,001%

Bestimmen des anodischen Angriffes. Bei der Elektrolyse von wässerigen Lösungen, besonders bei der Chloralkali-Elektrolyse werden graphitierte Kohlen als Anoden verwendet. Ihre Lebensdauer spielt für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes eine nicht unwesentliche Rolle. Entsprechend dieser wichtigsten Verwendung benutzten F. Foerster und seine Schüler zur Prüfung von Elektrodenkohlen eine wässerige Kochsalzlösung, der ein wenig Chromat zugesetzt war, um die kathodische Reduktion möglichst einzuschränken[1].

Durch die Elektrolyse von Kochsalzlösung wird an der Kathode Natronlauge, an der Anode Chlor gebildet, welche sich zu Natriumhypochlorit und später Chlorat umsetzen, wenn man nicht durch ein Diaphragma diese Umsetzung hindert. Das Chlor selber greift die Kohle nicht an, wohl aber der durch Entladung von Hydroxylionen entstehende Sauerstoff. Deshalb erreicht man, wenn man ohne Diaphragma elektrolysiert, schon in ziemlich kurzer Zeit einen beträchtlichen Angriff der Anode, aus dem man auf ihr Verhalten im Betriebe schließen kann.

[1] Foerster, F.: Elektrochemie wässeriger Lösungen, 4. Aufl., S. 686. Leipzig 1923. — Sprösser, L.: Z. Elektrochem. Bd. 7 (1902) S. 971ff. — Joost, K.: Dresdner Dissertation 1910.

Bei unseren Versuchen verwendeten wir zumeist kleine Platten von 7 × 4,5 cm Fläche und 1 cm Dicke, in deren eine Schmalseite ein Graphitstab als Stromzuleitung und Halter eingeschraubt war. Als Elektrolyten verwendeten wir wie Foerster eine wässerige Lösung von 200 g NaCl und 2 g Chromat im Liter und hielten die Temperatur des Bades auf 60°. Nach der Elektrolyse mußte aus den Platten zunächst die Salzlösung durch mehrmaliges Auskochen entfernt werden; dann wurden sie bis zu konstantem Gewicht getrocknet. Der Unterschied im Gewicht vor und nach der Elektrolyse ergibt den Gesamtverlust; dieser setzt sich zusammen aus dem Verlust durch chemische Einwirkung (anodische Oxydation) und durch Abbröckeln (mechanischer Verlust). Der Elektrolyt färbt sich während der Elektrolyse bräunlich und am Boden des Gefäßes setzt sich ein schwarzer Schlamm ab. Dieser Bodensatz wird abfiltriert, ausgewaschen und getrocknet; sein Gewicht ergibt den mechanischen Angriff der Anodenkohle. Der Unterschied zwischen dem Gesamtverlust und dem Gewicht des Anodenschlammes ergibt den chemischen Angriff.

Auf diese Weise erhielten K. Arndt und W. Fehse[1] für fünf verschiedene Sorten von Anodenkohlen bei einer Stromdichte von 6,7 A/dm² nach 150 Amperestunden folgende Werte:

Zahlentafel 26. Graphitierungsgrad und Angriff.

Graphitierungsgrad %	Asche %	Porosität %	Gesamtverlust %	Schlamm %
0	7,63	21,4	8,1	0,35
44	0,69	26,7	4,2	—
70	0,19	24,4—27,7	4,2	0,28
75	0,36	22,2	2,2	—
100	0,24	22,8—25,0	3,1	—

Um die chemischen Vorgänge während der Elektrolyse analytisch verfolgen zu können, entnimmt man von Zeit zu Zeit Proben aus dem Bade und fängt die an den Elektroden entwickelten Gase auf. Zu diesem Zwecke verschließt man die Zersetzungszelle mit einem Gummistopfen und fängt das entwickelte Gas z. B. alle 10 Minuten in einer Glasglocke über Wasser auf, mißt es in einer Glasbürette und analysiert es, wozu ich die bekannten, sehr zweckmäßigen Büretten und Pipetten nach Hempel benutze. Während der gleichen Zeit wird aus einem Knallgascoulometer, welches in denselben Stromkreis geschaltet ist, das Gas aufgefangen und sein Sauerstoffgehalt bestimmt. Der Vergleich der in der Zersetzungszelle entwickelten Kubikzentimeter Wasserstoff und Sauerstoff mit den durch dieselbe Strommenge im Coulometer entwickelten Wasserstoff- und Sauerstoffmengen ergibt, wieviel Wasser-

[1] Z. Elektrochem. Bd. 28 (1922) S. 376.

stoff zur kathodischen Reduktion und wieviel Sauerstoff zur anodischen Oxydation verbraucht wurde. Hieraus ergibt sich sofort die Stromausbeute, welche an der Anode z. B. 100% betragen würde, wenn man gar keinen Sauerstoff im Elektrolysegas fände. Zahlentafel 27 gibt als Beispiel die Werte, welche bei den oben erwähnten Versuchen in den letzten 3 Stunden gefunden wurden.

Zahlentafel 27. Graphitierungsgrad und Anodengase.

Graphitierungsgrad	0%	44%	70%	75%	100%
Stromausbeute	72,7	76,7	75,1	80,2	78,6
Kohlensäure	13,2	8,7	9,4	3,3	5,0
Sauerstoff	10,4	13,4	14,1	16,0	14,4
Chlorgas	2,5	0,9	2,5	0,8	0,7

Aus beiden Zahlentafeln geht hervor, daß die Widerstandsfähigkeit der Anode nicht allein vom Graphitgehalt abhängt. Die Kohle mit 70% und sogar die völlig durchgraphitierte Anode wurden durch die Elektrolyse stärker angegriffen, als man vielleicht auf Grund ihres Graphitierungsgrades und ihres geringen Aschengehaltes vermuten mochte. Dieser scheinbare Widerspruch klärte sich auf, als wir das Gefüge der Kohlen untersuchten.

Wenn man die Anodenkohle höher mit Strom belastet, etwa mit 10 A/dm², entsprechend dem Bestreben der Praxis, die Badeinheiten möglichst auszunutzen, so wird die Anode stärker angegriffen. So fanden wir in der gleichen Kochsalzlösung bei 60° unter dieser höheren Belastung folgende Verluste in Prozenten des Anfangsgewichtes:

	Nach 151 Ah	302 Ah	453 Ah
Gesamtverlust	2,6%	11,5%	18,4%
Schlamm	1,3%	5,0%	8,4%
Chemischer Angriff	1,3%	6,5%	10,0%

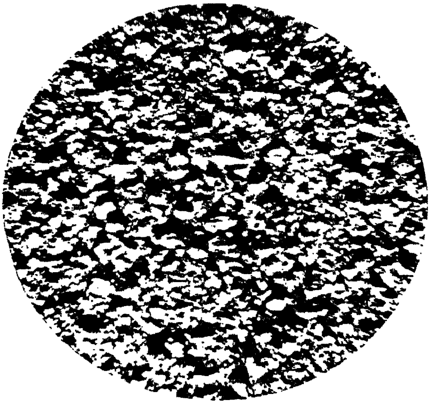
Bequemer und rascher konnte ich den anodischen Angriff bestimmen, indem ich als Elektrolyten Normal-Natronlauge (40 g NaOH im Liter) benutzte und auf künstliche Erwärmung verzichtete; bei Belastung mit 10 A/dm² stieg dabei die Badtemperatur auf einige 30°. Zahlentafel 28 zeigt, wie der Angriff z. B. nach 64,8 Ah von der Stärke der Natronlauge abhängt.

Zahlentafel 28. Angriff in Natronlauge.

Gehalt der Natronlauge	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0 normal
Gesamtverlust	16,4	3,3	1,3	5,3	3,9 %
Schlamm	6,0	1,4	0,3	1,6	2,0 %

Wenn man mit Normal-Natronlauge arbeitet, so kann man die Elektrolyse nach 6—7 Stunden ruhig abbrechen, also die Prüfung an einem Tage durchführen. Abb. 156 zeigt bei achtfacher Vergrößerung das Gefüge einer Elektrolyseplatte aus Achesongraphit nach 7 Stunden

und Abb. 156a nach nochmals 7 Stunden anodischer Ätzung in Normal-Natronlauge.



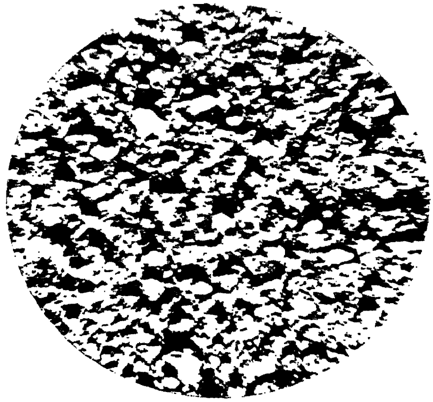
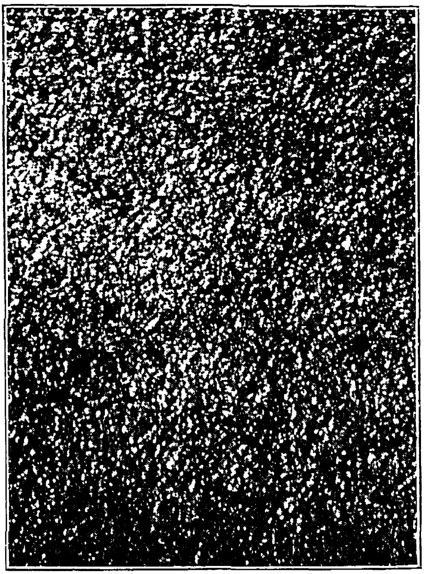


Abb. 156. V = 8. Abb. 156a. V = 8.
Graphitplatte in Natronlauge anodisch angeätzt
nach 7 Stunden nach weiteren 7 Stunden.

Noch wichtiger als der Gesamtverlust ist der Befund, ob die Kohle ziemlich gleichmäßig oder an einzelnen Stellen besonders stark ange-



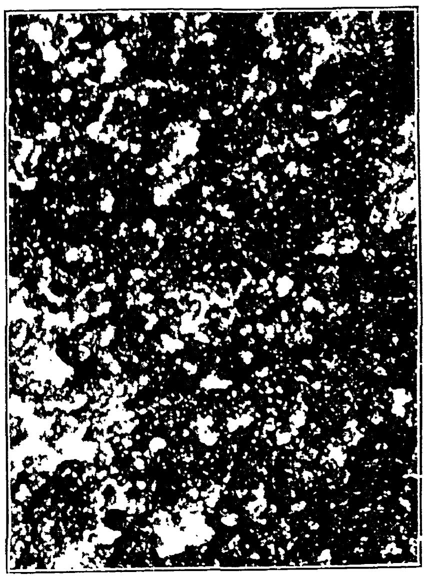


Abb. 157. Abb. 157a.
Zu 44% graphitierte Kohle vor und nach der Elektrolyse.

griffen wird. Dieser örtliche Angriff ist besonders gefährlich. Um die Beobachtungen hierüber festzulegen, muß man photographische Aufnahmen machen. Abb. 157 und 157a zeigen als Beispiel eine zu 44%

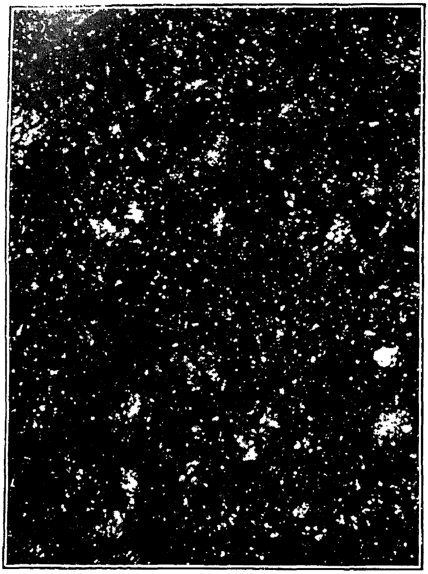


Abb. 158.

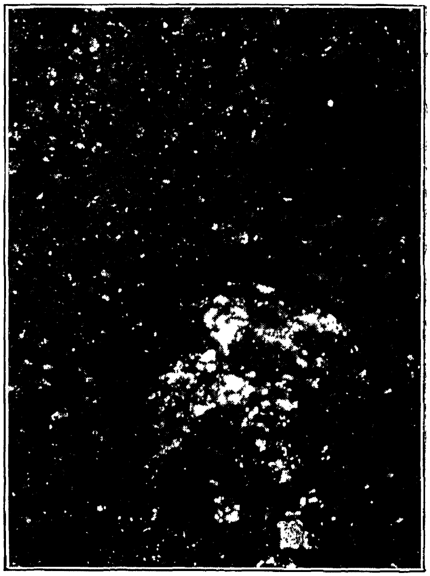


Abb. 158a.

Ungraphitierte Kohle vor und nach der Elektrolyse.

graphitierte Kohle vor und nach der Elektrolyse[1] bei 30facher Vergrößerung, Abb. 158 und 158a dasselbe für eine ungraphitierte Kohle.

Zehntes Kapitel.

Mikroskopieren und Photographieren.

Alle die beschriebenen Prüfungen der Elektrodenkohlen werden zweckmäßig ergänzt durch die Untersuchung mit dem Mikroskop und die photographische Festlegung des Gesehenen.

Vorsichtige Behandlung der Linsen. Schon das oberflächliche Betrachten mit einem Leseglas oder die genauere Prüfung mit einer Lupe kann wertvolle Aufschlüsse geben. Damit das weiche optische Glas der Linse nicht zerkratzt wird, lasse man das Vergrößerungsglas nicht herumliegen, sondern packe es in ein sauberes Kästchen oder schlage es wenigstens in Papier ein! Noch sorgfältiger muß man beim Mikroskop aufpassen, daß die teuren Linsen, besonders die Frontlinse des Objektivs,

---

[1] Anodisch in Kochsalzlösung mit 6,7 A/cm² belastet nach 150 Ah.

nicht beschädigt werden. Man säubere die Linsen, wenn nötig, von Staub mit einem feinen weichen Pinsel oder mit weichem altem Leinen. Um Schmutz zu entfernen, befeuchte man das Leinen mit absolutem Alkohol, nicht mit Wasser. Feuchtigkeit ist Gift für die Linsen. Wenn ein Objektiv innen verschmutzt sein sollte, so sende man es zur Säuberung an die liefernde Firma ein! Wenn man es leichtsinnig auseinanderschraubt, so bekommt man nachher die richtige Stellung der Linsen meist nicht wieder. Bei stärkeren Vergrößerungen kommt die Frontlinse dem Gegenstand sehr nahe; weil wir gewöhnlich ohne Deckglas arbeiten, so könnte bei Unvorsichtigkeit das Objektiv aufstoßen und vielleicht beschädigt werden. Eine gute Regel ist es, zunächst den Tubus des Mikroskops vorsichtig etwas zu weit zu senken und dann durch Anheben scharf einzustellen. Man merke sich, nach welcher Richtung man die Schraube der Feinbewegung drehen muß, um den Tubus zu senken. Nützlich ist der Objektivschützer nach Dr. Bien (Abb. 159), der ohne weiteres zwischen Tubus und Objektiv eingesetzt werden kann; ein einstellbarer Stift stößt mit seiner Spitze aus Ebonit auf, wenn man versehentlich den Tubus zu weit senkt[1].

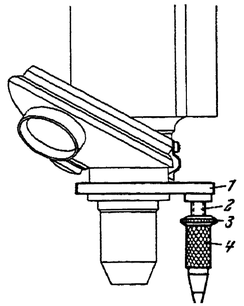


Abb. 159. Objektivschützer.

Ausrüstung des Mikroskops. Beim Mikroskop pflegt der Laie zu fragen: „Wie stark vergrößert es?" Richtig muß die Frage lauten: „Wie groß ist das Auflösungsvermögen des Mikroskops bei gegebener Vergrößerung." Für unsere Zwecke brauchen wir im allgemeinen nur mäßige Vergrößerungen, weil wir zumeist nicht ganz ebene Flächen vor uns haben. Während das menschliche Auge sich der Entfernung anpaßt, gibt das Mikroskop nur von den Dingen, welche sich in ein und derselben Ebene senkrecht zur optischen Achse befinden, ein scharfes Bild: darüber und darunter wird alles unscharf, und zwar macht sich dieser Mangel um so störender bemerkbar, je stärker die angewandte Vergrößerung ist. Solche Unschärfen können auch grobe Täuschungen über das Gefüge verschulden. Man arbeite deshalb mit einer so geringen Vergrößerung als möglich! Für die optische Austattung des Mikroskopes ist deshalb ein Objektiv von großer Brennweite und geringer Vergrößerung (etwa 2—3 mal) fast unentbehrlich. Ebenso wichtig wie die gute optische Ausrüstung ist die mechanische Ausrüstung des Mikroskops. Die Grob-

[1] Zu beziehen von den Optischen Werken C. Reichert in Wien. Mit dem Ringe 1 wird der Schützer zwischen Tubus und Objektiv geklemmt. Indem man auf der Schraube 2 die gerauhte Mutter 4 mit dem Stift höher oder tiefer schraubt und dann mit der Gegenmutter 3 sichert, erhält man die richtige Stellung der Spitze.

und F... muß sehr gut gearbeitet sein; sie darf weder zu sch... ...u leicht gehen. Ein „Kreuztisch“, auf dem sich der Gegenstand nach zwei zueinander senkrechten Richtungen durch Schrauben genau meßbar verschieben läßt, ist sehr nützlich. Sehr wertvoll ist es, wenn man nicht nur den Tubus, sondern auch den Tisch heben und senken kann[1]. Das genau waagerechte Ausrichten der zu beschauenden Fläche ist nicht notwendig, wenn man ein Mikroskop mit Kugelgelenk (Abb. 160) verwendet; sein Objekttisch ruht überdies hier auf einer Kugelschale und ist dadurch nach allen Richtungen zu bewegen. Um größere Flächen zu besichtigen, kann man den Mikroskoptubus auf einen hufeisenförmigen Fuß setzen. Für meine Zwecke habe ich mir seinerzeit das Hilfsstativ (Abb. 161) anfertigen lassen, bei welchem der Tubus meines Mikroskops in einen mit Tuch ausgefütterten Falz eingeschoben wird; der Träger kann seitlich ausgeschwenkt werden, läßt sich in der Höhe grob und fein verstellen und nach Art des Kreuztisches waagerecht in zwei aufeinander senkrechten Richtungen über eine erhebliche Strecke verschieben.

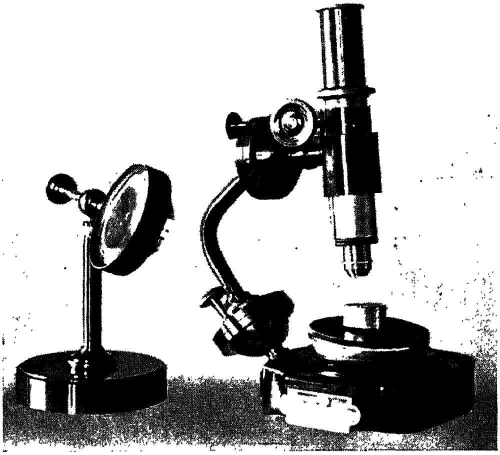


Abb. 160. Mikroskop mit Kugelgelenk; Gegenstand auf Kugelschale.

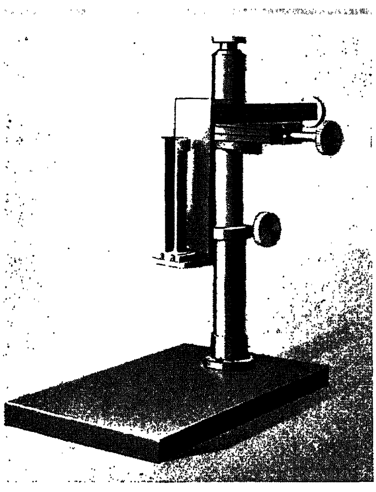


Abb. 161. Hilfsstativ zum Ausschwenken und Verstellen nach Art des Kreuztisches.

[1] Wie für die Metallographie, so ist auch für unsere Zwecke unter anderen das Metallmikroskop MO von Leitz (siehe S. 183) sehr geeignet. Der Objekttisch läßt sich über eine weite Strecke heben und senken. Dies erlaubt, ziemlich hohe Gegenstände zu betrachten und hat die große Annehmlichkeit, daß bei Beleuchtung mit dem Vertikalilluminator die Lichtquelle nicht mit verstellt werden muß, wenn man das Objektiv wechselt. Eine runde Öffnung in der Mitte des Tisches ist durch eine Metallplatte verschlossen, welche man herausnimmt, wenn man in durchfallendem Licht arbeiten will.

Strahlengang im Mikroskop. Abb. 162 läßt an einem Schnitt durch das Mikroskop den Strahlengang ersehen. Durch das Objektiv wird von dem Gegenstand ein reelles umgekehrtes Bild entworfen, das durch das Okular als Lupe betrachtet wird.

In der Abbildung sind von den Strahlenbündeln, welche von den Punkten des Objektes PQ ausgehen, nur die angedeutet, welche von den äußersten Punkten des überblickten Sehfeldes ausgehen und von ihnen wiederum nur die beiden äußersten Strahlen, welche noch in das Objektiv eintreten können. Nachdem diese Büschel aus dem Objektiv ausgetreten sind, werden sie schwach konvergent und zielen nach Punkten, welche in der Ebene F_1 liegen. Sie würden hier ein vergrößertes Bild erzeugen, wenn sie nicht durch die untere Linse des Okulars (die Kollektivlinse) so abgelenkt würden, daß ihre Schnittpunkte in die Ebene der Blende zu liegen kommen, welche in das Okular eingesetzt ist. An dieser Stelle entsteht das reelle Bild $Q_1 P_1$ von PQ; rechts und links sind vertauscht. Die obere Linse des Okulars (die Augenlinse) ist um ihre Brennweite von der Blende, also auch vom Bilde entfernt, so daß die von P_1 und Q_1 ausgehenden Strahlen aus dem Okular parallel austreten. Deshalb vereinigt das Auge die eintretenden parallelen Strahlen auf der Netzhaut zu reellen Bildpunkten, vorausgesetzt, daß das Auge auf Unendlich eingestellt oder durch Brille berichtigt ist. Die beiden rückwärts verlängerten Strahlenbüschel

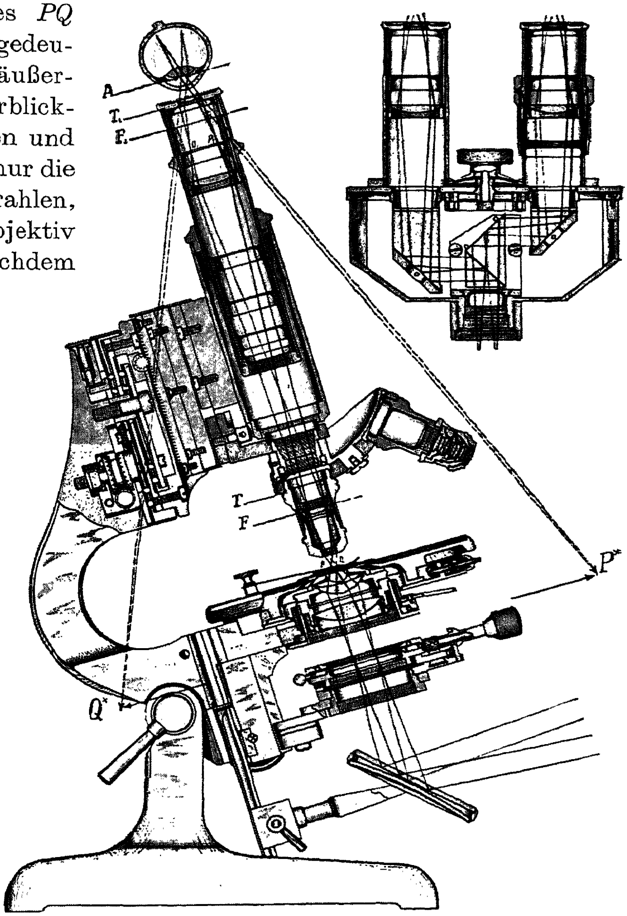


Abb. 162. Strahlengang im Mikroskop; rechts oben Stereo-Aufsatz.

vereinigen sich in den Punkten P^x und Q^x, 250 mm vom Auge entfernt, in der natürlichen Sehweite, in welcher das Bild scheinbar (virtuell) entsteht[1].

Beleuchtungsapparat. Wenn man in durchfallendem Licht beobachtet, z. B. Teilchen von Kohlenpulver, so läßt man das etwa von hellen Wolken zurückgeworfene Tageslicht durch die ebene Seite des Spiegels (auf der anderen Seite ist er hohl und liefert ein konvergentes Strahlenbüschel) durch die Irisblende in den Beleuchtungsapparat fallen, welcher alle Strahlen im Objekt vereinigt. Unter der gemachten Voraussetzung wird die Lichtquelle ungefähr in der Ebene des Objektes abgebildet. Wenn man künstliches Licht benutzt, so bildet man zweckmäßiger die Lichtquelle in der Irisblende ab, indem man andere optische Mittel zu Hilfe nimmt. Der Beleuchtungsapparat samt Irisblende läßt sich mit Zahn und Trieb heben und senken. Wenn die Irisblende sich auch seitlich verstellen läßt, so kann man auch schief beleuchten und dadurch oft die Umrisse des Objektes viel besser hervorheben. Oft genügt es hierzu schon, die Irisblende klein zu stellen.

Feinbewegung; Revolver; Immersionsobjektiv. Die Feinbewegung wird bei dem abgebildeten Stativ BMB von Leitz durch Kugelführung fast reibungslos gemacht und von jedem toten Gang befreit. Der „Revolver", eine Scheibe, welche exzentrisch um eine konische Achse gedreht werden kann, trägt hier zwei Objektive, unten ein schwächeres und seitlich ein Immersionsobjektiv. Jenes besteht aus zwei achromatischen verkitteten Doppellinsen, von denen jede aus einer plankonkaven Flintglas- und einer bikonvexen Kronglaslinse zusammengesetzt ist. Das Objektiv für Ölimmersion hat eine „Duplexfrontlinse" aus einer Halbkugel und einem Meniskus, an welche sich eine verkittete Doppellinse und zwei dreifache Linsen reihen, um die Bildpunkte in der Achse und seitlich chromatisch und sphärisch zu berichtigen; im ganzen enthält es 10 Linsen.

Vergrößerung. Je länger der Tubus ausgezogen ist, um so mehr wird das Bild vergrößert; aber die Objektive geben nur bei einer vorgeschriebenen „mechanischen" Tubuslänge[2], die z. B. bei Leitz 215 mm für kurzgefaßte Objektive, bei Zeiß 180 mm, bei Reichert 160 mm beträgt, ihre beste Leistung. Man stellt deshalb den Tubus auf den betreffenden Teilstrich seiner Millimeterteilung ein. Für diese Tubuslänge gilt die

---

[1] In der Ebene A (Abb. 162) überkreuzen sich die aus dem Mikroskop parallel austretenden Büschel und bilden dort einen Kreis (Ramsdenschen Kreis oder Austrittspupille). Man sieht ihn als hellen Fleck, wenn man aus einiger Entfernung auf das Okular blickt. Die Entfernung zwischen der hinteren Brennebene F des Objektivs und der vorderen Brennebene F_1 des Okulars bezeichnet man als „optische" Tubuslänge.

[2] Mechanische Tubuslänge ist die Entfernung zwischen dem oberen Rande des Tubus und der Ansatzfläche des Objektivgewindes.

angegebene Vergrößerung, die sich als Produkt zweier Werte, der „Vergrößerung" des Objektives und des Okulares, darstellen läßt. Auf den neueren Okularen ist ihr Vergrößerungswert angegeben, z. B. 4×. Mit der Okularvergrößerung geht man im allgemeinen nicht über 8 oder 12 hinaus, weil noch stärkere Okularvergrößerung der Schärfe des Bildes schadet und nur zur Erleichterung der Übersicht manchmal nützlich ist[1].

Objektive. Das Auflösungsvermögen eines Objektives ist um so größer, je größer der Öffnungswinkel der Strahlen ist, die vom Objektiv noch aufgenommen werden. Sein Maß ist die „numerische Apertur" $n \cdot \sin \alpha$, worin n der Brechungsindex des Mittels, z. B. Luft, das sich zwischen Deckglas und Frontlinse befindet, α der Winkel, unter dem der äußerste Randstrahl die Frontlinse trifft. Das Auflösungsvermögen ist der Apertur direkt, die Helligkeit des Bildes sogar ihrem Quadrat proportional. Immersionssysteme sind den Trockensystemen überlegen, weil n für Wasser 1,33 mal, für Zedernholzöl sogar 1,52 mal so groß wie für Luft ist. Weil für das Deckglas n ebenfalls 1,52 ist, so kann bei Zedernölimmersion jeder Strahl ungebrochen vom Gegenstand zur Frontlinse des Objektivs gehen. Für große Apertur muß das Objektiv sehr fein gefaßt sein und muß deshalb vor Beschädigungen besonders sorgsam bewahrt werden.

Für stärkere Trockensysteme (etwa von Nr. 5 an) ist zu beachten, daß die Dicke des den Gegenstand bedeckenden Glases Einfluß auf den Korrektionsgrad des Bildes hat. Die Objektive von Leitz verlangen Deckgläser von 0,16—0,18 mm Dicke. Es gibt aber Objektive, welche innerhalb bestimmter Grenzen, z. B. von 0,12—0,20 mm, der Deckglasdicke anzupassen sind, indem man einen Ring mit entsprechender Teilung dreht und dadurch den Abstand der Hinterlinse von den vorderen Linsen ändert. Behelfsmäßig kann man bei zu dünnem Deckglas den Tubus etwas mehr ausziehen. Für das Arbeiten ohne Deckglas, wie es in der Metallographie üblich ist und auch für uns zumeist in Frage kommt, gibt es Spezialobjektive.

Um ein scharfes Bild zu geben, müssen die Objektive gute „sphärische Korrektion" besitzen, d. h. möglichst alle vom Gegenstand ausgehenden Strahlen in einem Punkt vereinigen. Bekanntlich werden aber die verschiedenen Farben verschieden stark gebrochen. Für ein klares Bild muß der Farbenfehler der Linsen möglichst beseitigt sein. „Achromate" haben noch einen geringen Farbenrest, das „sekundäre Spektrum"; bei den „Apochromaten" ist auch dieser Rest beseitigt.

---

[1] Die angegebenen Vergrößerungen beruhen auf dem Übereinkommen, daß man die Größe des vom Mikroskop erzeugten virtuellen Bildes mit der Größe vergleicht, in welcher der Gegenstand dem unbewaffneten Auge in der „deutlichen Sehweite" 250 mm erscheinen würde (Lupenvergrößerung).

Bei diesen gestattet nämlich die Verwendung von Linsen aus Flußspat in Verbindung mit geeigneten Gläsern nicht nur 2, sondern 3 Farben des Spektrums zu vereinigen[1]. „Fluoritsysteme“ verwenden ebenfalls Flußspat, sind einfacher als die Apochromate gebaut und deshalb billiger; sie leisten fast das gleiche an Farbenreinheit. „Mikrosummare“ sind Objektive von hohem Öffnungsverhältnis und großer Ausdehnung des Bildes bei schwacher Vergrößerung. Sie liefern für das Photographieren ebene Übersichtsbilder. Zur Erhöhung der Bildschärfe kann eine Irisblende eingeschaltet werden.

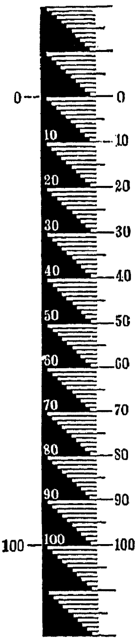


Abb. 163. Okular-Stufenmikrometer. (Ernst Leitz, Wetzlar.)

Okulare. Die Okulare der Mikroskope sind meist sogenannte Huygenssche Okulare mit zwei plankonvexen Linsen; sie eignen sich vorwiegend für Achromate und Fluoritsysteme. Für Apochromate sind „Kompensationsokulare“[2] zu verwenden. Bei allen Okularen von Leitz befindet sich der untere Brennpunkt in gleicher Höhe, so daß man beim Wechseln des Okulars nur wenig nachstellen braucht. „Periplanatische“ Okulare mildern die Bildwölbung der stärkeren Objektive; sie sind vorteilhaft in Verbindung mit den Apochromaten und den stärkeren Achromaten von 3a aufwärts zu benutzen. Bei ihnen ist die dem Auge zugekehrte Linse doppelt, und zwar aus einer negativen Flintglas- und einer positiven Kronglaslinse zusammengesetzt, deren Brennweiten so gewählt sind, daß die Bildwölbung beseitigt wird. Dies ist besonders für die Mikrophotographie von Vorteil. Ihr Gesichtsfeld ist wesentlich größer als das der Kompensationsokulare, an deren Stelle sie treten.

Okularmikrometer. Zwischen die beiden Linsen des Okulars wird auf die Blende eine Glasscheibe gelegt, welche eine Teilung enthält. Bei den Mikrometerokularen ist der Abstand der oberen Linse zu verändern; man zieht so weit heraus, daß der zu messende Gegenstand und die Teilung beide scharf erscheinen. Empfehlenswert ist eine Teilung, welche statt der geraden Striche schwarze Dreiecke (Abb. 163) enthält; zwischen den Dreieckspitzen läßt sich sehr bequem und scharf messen. Den wahren Wert der Teilstriche des Okularmikrometers bestimmt man für die ver-

[1] Der Flußspat oder Fluorit besitzt eine sehr geringe und günstig verteilte Farbenzerstreuung, geringe Brechung ($n = 1{,}434$) und große Lichtdurchlässigkeit.

[2] Bei den stärkeren apochromatischen Objektiven ist das Bild noch etwas gekrümmt und die Bilder sind in den verschiedenen Farben verschieden groß, so daß Farbsäume auftreten. Bläuliche Farbsäume z. B. kann man nun beseitigen, indem man ein Kompensationsokular verwendet, bei dem das rote Bild größer ist.

schiedenen Objektive bei gegebener Tubuslänge, indem man auf ein Objektivmikrometer einstellt.

Beleuchtung. Was die Beleuchtung anlangt, so kommt für unsere Zwecke naturgemäß fast immer auffallendes Licht in Frage. Schiefe Beleuchtung läßt oft Einzelheiten erkennen, die bei senkrecht auffallendem Licht undeutlich sind. Die angenehmste Beleuchtung ist seitlich einfallendes Tageslicht. Wenn dabei das Bild zu dunkel ist oder gar eine photographische Aufnahme gemacht werden soll, so muß man künstliches Licht von genügender Helligkeit verwenden, nämlich eine Glühlampe oder Bogenlampe in passender Anordnung.

Bei geringerer Vergrößerung bleibt zwischen Objektiv und Gegenstand genügend Platz, um von der Seite her zu beleuchten. Um bei der schiefen Beleuchtung auch die im Schatten liegenden Teile passend aufzuhellen,

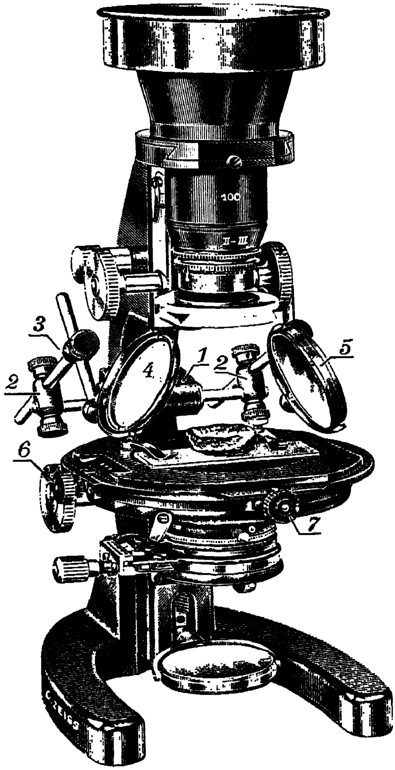


Abb. 164. Spiegelhalter am Objektiv.

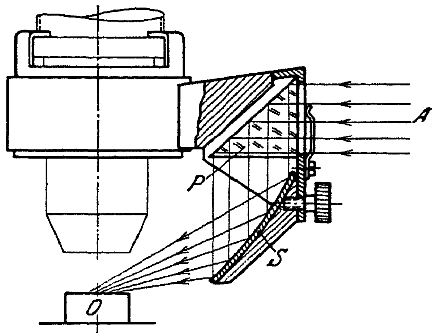


Abb. 164a. Schräglicht-Illuminator von Reichert.

kann man von der entgegengesetzten Seite durch einen schräg gestellten Spiegel Licht herleiten. Zeiß befestigt zu diesem Zwecke an der Fassung des Objektives einen Halter, welcher einerseits eine schräge Mattscheibe, andererseits einen entgegengesetzt geneigten Spiegel trägt (Abb. 164). Reichert benutzt für schräges Licht ein kleines totalreflektierendes Prisma P (Abb. 164a), das die von der Lichtquelle kommenden Strahlen A einem schwach gewölbten verchromten Hohlspiegel S zuwirft, der sie seinerseits als stark geneigten konvergierenden Lichtkegel auf den Gegenstand O wirft.

Vertikal-Illuminator. Um das Licht senkrecht von oben fallen zu lassen, schaltet man ein um 45° geneigtes dünnes planparalleles Glas ein, welches seitlich zugeworfenes Licht zum Teil nach unten wirft, aber auch die Durchsicht von oben her nicht verhindert (Abb. 165). Bei stärker vergrößernden Objektiven wird jener Abstand zu klein und man muß sich einer Hilfsvorrichtung bedienen, welche von der Seite her Licht in das Mikroskop eintreten läßt und es nach unten lenkt, so daß es durch das Objektiv hindurch auf den Gegenstand fällt und ihn genügend beleuchtet. Zu diesem Zwecke dient entweder die unter 45° geneigte dünne Glasplatte (Vertikal-Illuminator nach Beck) oder ein rechtwinkliges Prisma (Illuminator nach Nachet). Bei dem Vertikal-Illuminator nach Beck (Abb. 166) fällt das Licht von dem leuchtenden Punkt, der innerhalb der Blende *1* liegen möge, durch ein mit der Blende *2* versehenes Fenster auf ein spiegelndes Glasplättchen *3* dicht über dem Objektiv *4* und wird teilweise nach unten gespiegelt. Falls sich der leuchtende Punkt in richtiger Entfernung befindet, werden die gespiegelten Strahlen auf der Oberfläche des Objektes *5* vereinigt. Das gleiche gilt von allen Punkten der Blende; es entsteht ein Bildchen der Blende *1* in der Objektebene. Alle Punkte des Objektes, welche innerhalb dieses Bildchens liegen, werfen nun mehr oder weniger Licht zurück. Das zurückgeworfene Licht kann durch das Objektiv und das durchsichtige Glasplättchen hindurchgelangen und innerhalb der Okularblende *6* das reelle Zwischenbild des Gegenstandes erzeugen, welches durch das Okular betrachtet wird. Durch die Blende *2* kann der Öffnungswinkel des Lichtkegels geändert werden bis zu der oberen Grenze, welche durch den Öffnungswinkel des Objektives gegeben ist. Die Größe des beleuchteten Sehfeldes, des „Leuchtfeldes", wird durch die Blende *1* bestimmt, welche zwischen Lichtquelle und Illuminator eingeschaltet ist. Die ganze Öffnung des Objektives, seine volle Apertur, bleibt bei der Abbildung wirksam.

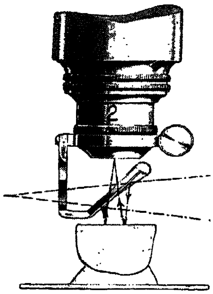


Abb. 165. Schräges Glasplättchen am Objektiv zur senkrechten Beleuchtung.

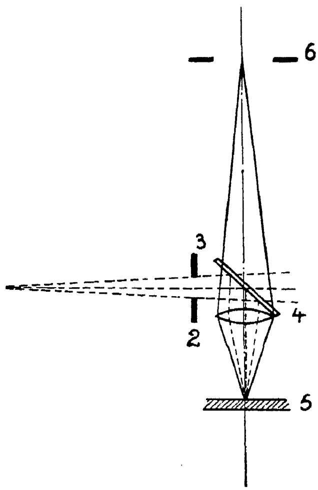


Abb. 166. Vertikal-Illuminator nach Beck (Glasplättchen).

Dies ist nicht der Fall bei dem Illuminator nach Nachet (Abb. 167). Auch hier ist Leuchtfeldblende *1* und Aperturblende *2*, statt des durch-

sichtigen Spiegels aber ein undurchsichtiger, nämlich ein kleines totalreflektierendes Prisma *3* vorhanden[1]. Dieses Prisma verdeckt die Hälfte der Objektivöffnung. Dadurch wird der Öffnungswinkel des Beleuchtungskegels senkrecht zur Prismenkante und die wirksame Apertur des Objektives auf die Hälfte verringert. Außerdem ist der das Objekt treffende Beleuchtungskegel geneigt; wir haben also stets schiefe Beleuchtung. Vom Objekt gelangen nur die in der rechten Hälfte verlaufenden Strahlen zum Bilde nach *6* empor; die andern werden durch das Prisma daran gehindert.

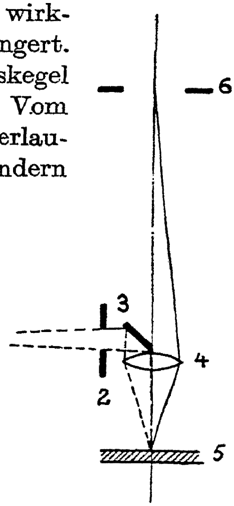
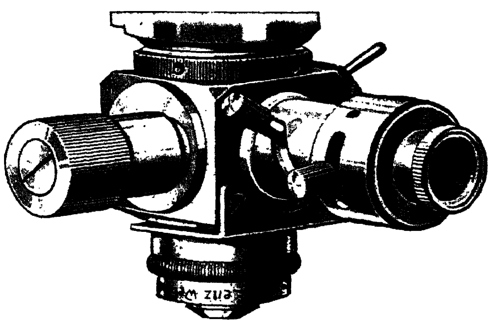


Abb. 167. Vertikal-Illuminator nach Nachet (Prisma).

Jede der beiden Vorrichtungen hat ihre Vorzüge und Nachteile. Das Prisma gibt größere Helligkeit, aber erzeugt leicht einen Schleier auf der Seite des Sehfeldes, die über der freien Hälfte der Objektivöffnung liegt. Damit er verschwindet, muß das Leuchtfeld oft kleiner als das Sehfeld gewählt werden. Das Glasplättchen gibt diesen einseitigen Schleier nicht, ist aber wesentlich lichtschwächer. Trotz der geringeren Helligkeit ist für starke Vergrößerung, wenn die Feinheiten des Bildes unter voller Ausnutzung der Apertur wiedergegeben werden sollen, das Glasplättchen vorzuziehen.

Abb. 168 stellt den Opak-Illuminator von Leitz und Abb. 169 seine innere Einrichtung dar. Das Plättchen *Pl* und das Prisma *Pr* sind im Schnitt angedeutet; durch einen mit geriffeltem Knopf versehenen Schieber, senkrecht zur Papierebene von Abb. 169, werden sie gewechselt, indem man ihn bis zum Anschlag hereinschiebt oder herauszieht. Von der Lichtquelle gelangen die Lichtstrahlen (durch einen Wassertrog und eine Mattscheibe) zum unteren Spiegel Sp_u, der sie dem oberen


Abb. 168. Opak-Illuminator.

[1] Winkel-Zeiß, Göttingen, liefert auf Wunsch statt des Spiegelprismas auch einen Vertikal-Illuminator mit einem Metallspiegel, dessen luftbeständige auf Hochglanz polierte Fläche etwa zwei Drittel des auffallenden Lichtes weitergibt; die Lichtstärke ist daher etwas geringer als beim Prisma, aber wesentlich größer als beim Planglas. Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes ist besonders frei von Reflexen.

Spiegel Sp_o zuwirft, weiter durch die Linse L_1 und die Irisblende I_1 in das Rohr, hier durch die Irisblende I_2 und die Linse L_2 auf das Plättchen oder Prisma und werden durch dieses nach unten geworfen. Nach dem Durchtritt durch das Objektiv *Obj*, welches gleichzeitig als Kondensor wirkt, beleuchten sie auf dem Gegenstand einen Kreis, dessen Durchmesser O_1O_2 von der jeweiligen Öffnung der Illuminator-Irisblende I_2 abhängt. Durch Reflexion und Beugung am Gegenstand gelangt ein Teil des Lichtes wieder aufwärts in das Auge des Beobachters. Die beiden Spiegel Sp_u und Sp_o sind an einem Stativ zu verstellen; man braucht dann nicht die Lampe höher oder tiefer zu setzen oder ihre

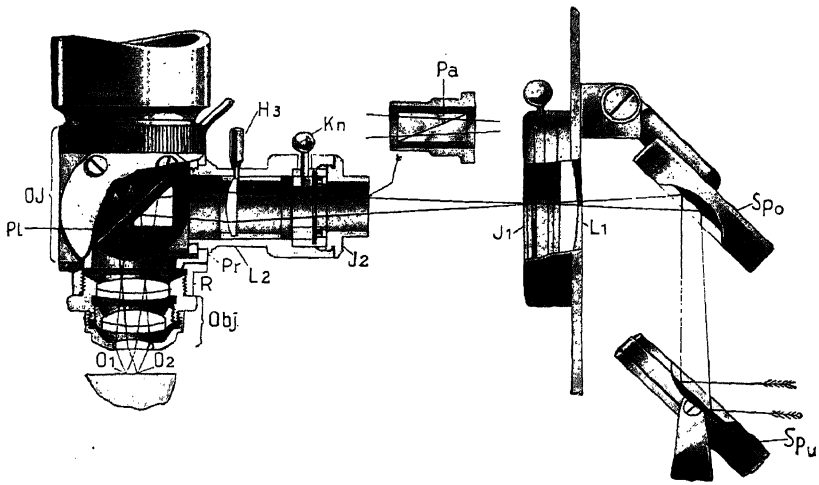


Abb. 169. Innere Einrichtung des Opak-Illuminators.

Neigung zu ändern, was bei der Bogenlampe etwas unbequem ist, sondern braucht nur die beiden leichten Spiegel in die rechte Lage zu bringen, damit die Strahlen richtig in das Seitenrohr des Illuminators gelangen.

Nachdem man zunächst durch vorsichtiges Heben oder Senken des Objekttisches, dann mit der Mikrometerschraube auf den Gegenstand scharf eingestellt hat, schließt man die Gesichtsfeldblende I_2 ziemlich weit, bringt, wenn nötig, indem man die Achse des Beleuchtungsprismas oder Plättchens ein wenig dreht, den voll erleuchteten Ausschnitt des Gesichtsfeldes in die Mitte und begrenzt ihn durch Verschieben der Linse L_2 mit dem Hebel H_3 (neben dem Knopf der Irisblende I_2) möglichst scharf. Vorteilhaft ist es, auch die Irisblende I_1 (die als Aperturblende wirkt) ziemlich weit zu schließen; diese Blendung soll schädliches Licht abhalten. Nun prüft nam die scharfe Einstellung des Gegenstandes nach und öffnet die Blende I_2 soweit wieder, bis ihr Bild eben aus dem Gesichtskreis verschwindet. Schließlich prüft man noch, ob

das Gesichtsfeld beim Öffnen und Schließen der Blende I_1 gleichmäßig erhellt oder verdunkelt wird, und hilft, wenn nötig, nach, indem man die Höhe dieser Blende ein wenig ändert. Die Helligkeit des Bildes darf nur mit der Blende I_1 geregelt werden.

Polarisationseinrichtung. Um das einfallende Licht zu polarisieren, was in manchen Fällen von Vorteil ist[1], setzt man in das Ansatzrohr des Vertikalilluminators den polarisierenden Nikol (*Pa* in Abb. 169) ein und bringt den Analysator auf das Okular. Das Erzmikroskop MOP von Leitz (Abb. 170) ist für Untersuchungen im polarisierten Licht besonders eingerichtet.

Dunkelfeldbeleuchtung. Die senkrechte Beleuchtung durch den Vertikalilluminator läßt bei rauhen Flächen gar manche Einzelheiten nicht erkennen, die schiefe Beleuchtung erfordern. Von großem Vorteil kann in solchen Fällen die Außenbeleuchtung mit allseitig schräg oder streifend auffallendem Licht sein. Dann bleiben waagerechte Flächen, wenn sie spiegelnd glatt sind, völlig dunkel; dagegen leuchten die kleinsten Unebenheiten auf, weil sie diffus in das Mikroskop reflektieren. Ein Mittel hierzu wurde zuerst im Lieberkühn-Spiegel gefunden, einem kleinen in der Mitte durchbohrten Hohlspiegel aus Aluminium, der auf der Fassung des Objektivs befestigt wird (Abb. 172). Auf der mindestens 40 mm großen Öffnung im Tisch liegt eine Glasscheibe, deren Mitte abgedeckt ist; auf sie wird der Gegenstand gelegt, welcher höchstens 25 mm Durchmesser haben darf, damit genügend Licht vom Mikroskopspiegel durch die Glasplatte zum Hohlspiegel geworfen wird. Objektive, deren Brennweite kürzer als etwa 8 mm ist, würden mit ihrer Fassung die vom Lieberkühn-Spiegel kommenden Strahlen abschatten. Hier half der Auflicht-Dunkelfeld-Kondensor nach

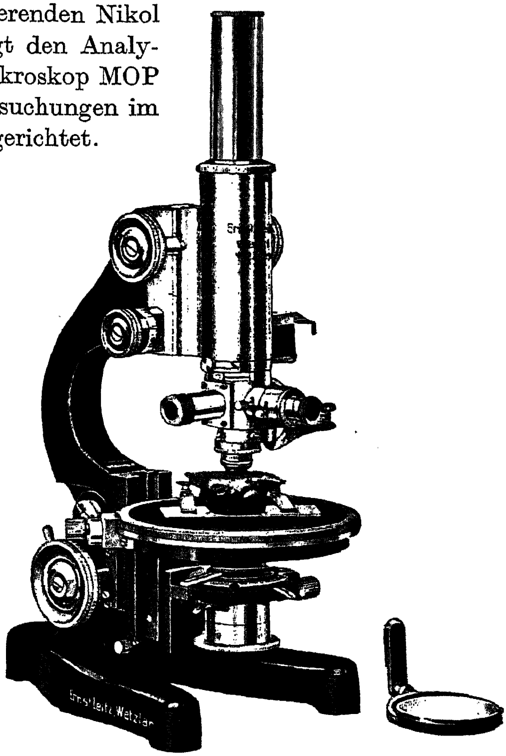


Abb. 170. Mikroskop MOP.

[1] Ramdohr (Arch. Eisenhüttenwes. 1928 S. 669) hat Koksanschliffe in polarisiertem Licht beobachtet und aus Anzahl wie Größe der „Graphitkristalle" Schlüsse auf den „Graphitierungsgrad" gezogen.

Hauser der Emil Busch AG., Rathenow. Bei ihm trifft das ringförmig durch die Glasplatte aufsteigende Licht zunächst auf einen kegelförmig das Objektiv umschließenden Spiegel und wird von ihm ringsum auf einen ringförmigen Hohlspiegel geworfen, der mit ihm durch eine Scheibe verbunden ist und nun seinerseits den Gegenstand streifend umleuchtet. Ebenso wie beim Lieberkühn-Spiegel müssen die Beleuchtungsstrahlen genau ausgerichtet sein, wozu eine feste Verbindung von Lampe und Mikroskop zweckmäßig ist.

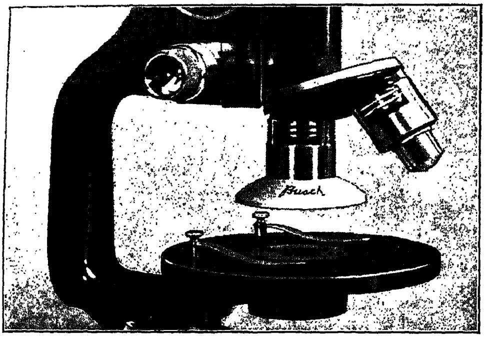


Abb. 171. Lieberkühn-Spiegel.

Ultropak. Gegenstände von beliebiger Ausdehnung können mit dem Ultropak nach Heine von obenher ringsum schräg beleuchtet werden. Hier ist in die Hülse des Objektivs eine ringförmige Kondensorlinse eingebaut, welche das seitlich durch die angeschraubte Beleuchtungseinrichtung zugeführte Licht um das Objektiv herum kegelförmig hinablenkt. Als Lichtquelle dient im allgemeinen ein Glühlämpchen für 8 Volt und 0,6 Ampere, welches mit besonderer Fassung angesetzt ist. Wenn die Helligkeit nicht genügt, so wird ein kegelförmiger Beleuchtungsansatz (in Abb. 172 oben) benutzt; zwischen ihn und die Bogenlampe muß ein guter Kühler geschaltet werden. Leitz hat für den Ultropak eine Reihe von 15 Objektiven von der Eigenvergrößerung 3,8—100 geschaffen, welche für die Tubuslänge 185 mm (diese größere Länge ist durch die Höhe des Gehäuses von Ultropak bedingt) berechnet sind; diese Länge wird innegehalten, indem man die Marke des Ausziehtubus auf 170 stellt. Mitgeliefert werden eine Mattscheibe und 4 Farbfilter, sowie 2 Sektorenblenden, die eine von 90—180° und die andere von 180° aufwärts, um bestimmte Beleuchtungen zu erzielen. Bei der Benutzung des Ultropak stellt man zunächst die Beleuchtung ein, indem man das Lämpchen in seiner Fassung oder die Beleuchtungslinse der Bogenlampe verstellt, und ändert dann die Höhe des Ringkondensors, bis das Bild gleichmäßig erhellt ist. Bei dem Ultropak wird die volle Öffnung des Objektivs zur Abbildung ausgenutzt. Wegen der guten Abblendung des zugeführten Lichtes ist das Bild frei von störenden Reflexen, wie sie bei dem Vertikal-Illuminator leicht auftreten[1]. In besonderen Fällen, wo eine flach auffallende, scharf begrenzte Beleuch-

[1] Bei dem Vertikal-Illuminator verschleiert das an den Linsenflächen des Objektivs reflektierte Licht das Bild, wenn die Oberfläche des Objektes uneben ist.

tung nützt, wird ein besonderer Spiegelkondensor geliefert. Abb. 172 zeigt die Eigenheiten des Ultropak. Die abgebildeten Objektive werden vorzugsweise ohne Deckglas benutzt; der Abstand zwischen Objektiv und Objekt ist möglichst groß gehalten.

Busch hat sich einen „Univertor" schützen lassen, bei welchem das seitlich eintretende Licht zunächst auf einen unter 45° geneigten Ringspiegel gelangt, der es rings um das Objektiv innerhalb einer dies umschließenden Hülse gegen einen sphärischen Hohlspiegel leitet,

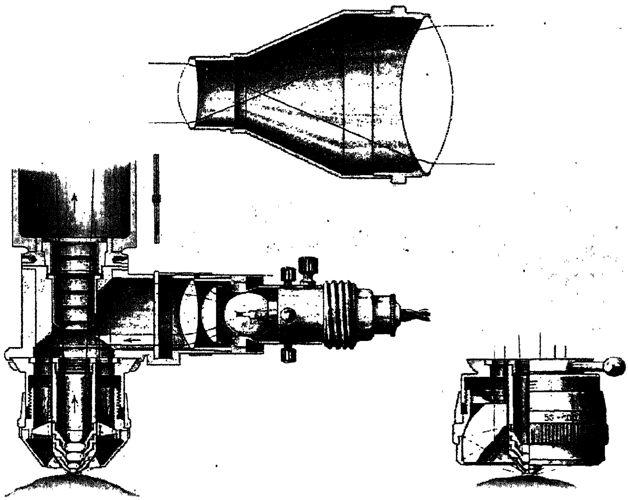


Abb. 172. Ultropak.

von dem es in der Einstellebene des Objektivs auf den Gegenstand gesammelt wird. Der durchbohrte Spiegel sitzt im Gehäuse des Vertikal-Illuminators auf einem Schieber, der auch Prisma und Plättchen des Vertikalilluminators trägt; nach Wahl kann man mit Dunkelfeld- oder senkrechter Beleuchtung oder auch mit freier Öffnung im durchfallenden Licht arbeiten, je nach der Stellung des Schiebers und zweier Griffknöpfe.

Lichtquellen. Von weißen Wolken zurückgeworfenes Tageslicht gibt eine sehr schöne sanfte Beleuchtung. Allermeist sind wir aber auf künstliche Beleuchtung angewiesen, und zwar wird fast immer elektrisches Glühlicht oder als stärkste Lichtquelle Bogenlicht verwendet.

Ein zwischengeschalteter Kondensor sammelt das ihm zugestrahlte Licht und leitet die Strahlen in passender Konvergenz zum Mikroskop; eine Mattscheibe mildert den Glanz und eine verstellbare Blende umgrenzt den Strahlenbüschel.

Die einfachste Vorrichtung ist eine gewöhnliche Glühlampe (Nitralampe), deren Licht durch einen mit Wasser gefüllten Glaskolben (sogenannte Schusterkugel) als Kondensor zusammengefaßt wird. Geeigneter ist eine sogenannte Projektionslampe, wie sie in den Bildwerfern (Projektionsapparaten) verwendet wird, deren Leuchtkörper in einer Ebene angeordnet ist. Ein hinter der Lampe an richtiger Stelle stehender Hohlspiegel erhöht die Helligkeit außerordentlich. Um die Beleuchtung gleichmäßig zu machen, muß eine Mattscheibe eingeschaltet werden. Sehr bequem ist, zur Beleuchtung des Vertikal-Illuminators ein Glühlämpchen, welches auf das Beleuchtungsrohr mit einer federnden Hülse aufgeschoben wird (wie beim Ultropak Abb. 172) oder das, wie bei der Anordnung von Winkel (Abb. 173) von unten sein Licht dem Spiegelchen am Vertikal-Illuminator zuwirft[1]. Eine sanfte gleichmäßige Beleuchtung wurde mir durch eine kleine Hohlkugel geliefert, die innen weiß gestrichen und seitlich von der Austrittsöffnung durch zwei kleine Lämpchen erleuchtet ist. Die Kugel ist auf einem kleinen Stativ verstellbar befestigt. Diese Vorrichtung, welche ein Freund für mich hat anfertigen lassen, habe ich seinerzeit viel benutzt, während ich jetzt meist mit Bogenlicht arbeite, schon deshalb, weil ich das Gesehene meist durch ein Lichtbild festhalte.

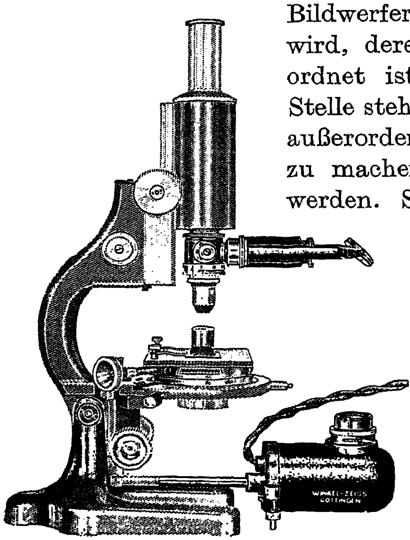


Abb. 173. Beleuchtung mit Glühlämpchen von Winkel-Zeiss.

Das hellste mit einer Glühlampe zu erzielende Licht wird von der Spezial-Niedervoltlampe für 6 V und 5 A von Leitz geliefert, welche bis 6 A überlastet werden darf, ohne durchzubrennen. Diese handliche Lampe (Abb. 174) ist in ein Gehäuse eingeschlossen, das mit einem Schlitz zum Einsetzen der Mattscheibe versehen ist; die Kondensorlinse ist mit Schneckengang versehen.

[1] Das Gehäuse des Lämpchens ist mit seinem langen Stiel in die Hülse eingeschoben, die für gewöhnlich den Mikroskopspiegel für die Beleuchtung mit durchfallendem Lichte trägt. Das nach oben gerichtete Ansatzrohr enthält eine Irisblende und eine Beleuchtungslinse.

Bei den kleinen Bogenlampen für Mikroskope (Abb. 175) stehen die beiden Kohlenstifte gewöhnlich senkrecht zueinander. Am besten arbeitet es sich mit Gleichstrom; dann wirft der Krater der waagerechten positiven Kohle eine Fülle von Licht. Bei Wechselstrom ist für gleiche Stromstärke die erhaltene Helligkeit bedeutend kleiner. Um den Winkel, unter dem das Licht einfällt, nach Wunsch zu ändern, soll die Lampe um ein Gelenk zu neigen sein. Das Nachstellen der abbrennenden Kohlen kann man von Hand besorgen oder durch ein Uhrwerk oder durch eine elektromagnetische Vorrichtung besorgen lassen. Auch dann muß man gewöhnlich von Zeit zu Zeit mit der Hand den Abstand regeln. Das grelle Bogenlicht wird durch eine Mattscheibe gedämpft und die Hitze durch einen Wasserkasten (Abb. 176) abgehalten. Die am Austrittsrohr der Lampe befindliche Kondensorlinse verschiebt man so, daß das Lichtbündel mäßig konvergiert. Außerdem ist das Einschalten einer Irisblende nützlich. Sehr angenehm ist es, wenn die Kühlvorrichtung gleich zum Tragen der Mattscheibe und eines Farbfilters[1] eingerichtet ist. Beim Gebrauch des Vertikal-Illuminators erspart man sich das lästige Höher- oder Tieferstellen der schweren Lampe beim Wechseln der Vergrößerung, wenn der Objekttisch des Mikroskops gehoben und gesenkt werden kann, wie das bei den heutigen „Metallmikroskopen“ der Fall ist. Bei feststehendem Tisch kann man sich helfen, indem man die in Abb. 169 angedeuteten zwei Spiegel einschaltet, von denen der eine das von der Lampe kommende Licht aufnimmt und es

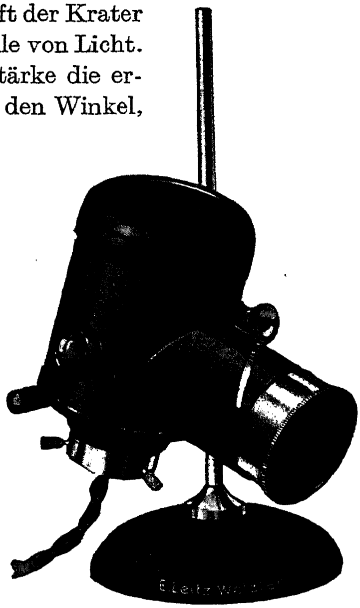


Abb. 174. Niedervolt-Lampe.

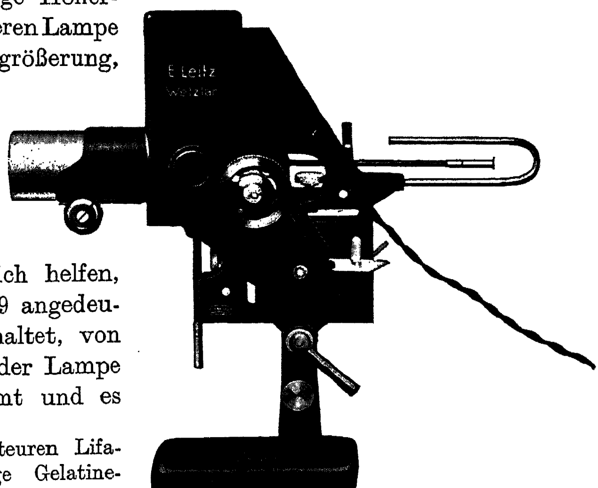


Abb. 175. Bogenlampe mit Uhrwerk.

[1] Die sehr guten, aber teuren Lifa-Filter enthalten eine farbige Gelatineschicht und müssen deshalb gegen die Hitze der Lampe sorglich geschützt werden.

dem anderen Spiegel zuwirft, der es dann waagerecht durch die Blende hindurch in den Illuminator weiterleitet; hier braucht man nur den oberen Spiegel senkrecht verschieben, während der untere Spiegel und die Lampe feststeht.

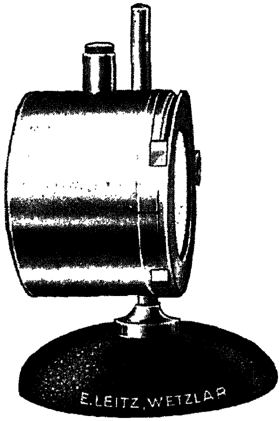
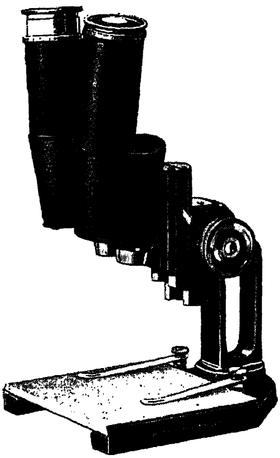


Abb. 176. Stativ mit Kühl-Küvette fur Lifa-Filter.

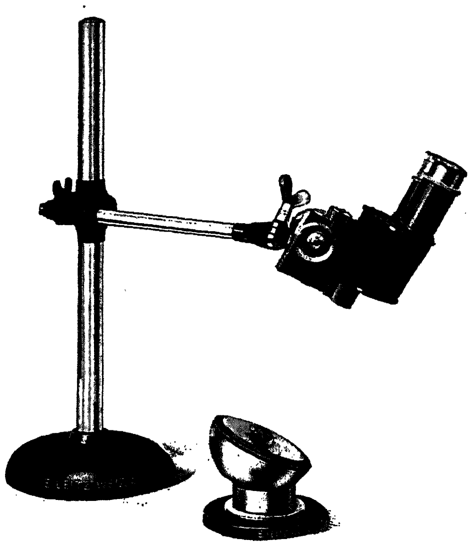
Zwischen die 220-Volt-Leitung (entsprechend auch bei 110 Volt) und die Bogenlampe muß der mitgelieferte Vorschaltwiderstand eingefügt werden.

Sehr helles, aber auch sehr heißes Licht gibt die Spiegelbogenlampe von Busch, deren Kohlen in einer geraden Linie liegen, besonders bei Gleichstrom. Der positive Krater ist dem Hohlspiegel zugekehrt. Sie gibt ein 2—3mal helleres Licht als die gewöhnliche Kondensorlampe. Das Nachstellen der Elektroden fällt fort, wenn man die Punktlichtlampe benutzt, bei welcher eine kleine Halbkugel aus Wolfram weißglüht. Ihr kugelförmiges Gehäuse ist nach allen Richtungen zu verstellen.

Körperliche Bilder. Im Mikroskop sieht man nur diejenigen Einzelheiten scharf, welche in der Ebene liegen, auf welche man eingestellt hat. Dieser Mangel stört bei der Betrachtung unebener Flächen, z. B. der Bruchfläche einer Elektrode, um so mehr, je stärker die Vergrößerung ist, hindert aber schon bei mäßiger Vergrößerung in solchen Fällen die Erkennung des Gefüges und kann zu argen Trugschlüssen verleiten. Von großem Vorteil ist in solchen Fällen die Benutzung der binokularen Prismenlupe (Abb. 177). Die beiden schwach vergrößernden Objektive sind fest eingebaut; die Abstufung der Vergrößerung wird durch Wechsel der Okulare erreicht. Ebenso wie bei dem Prismenfernrohr wird das Bild durch die in der Verdickung liegenden Prismenpaare aufgerichtet. Die Okularpaare müssen genau zueinander justiert sein. Die beiden schwach gegeneinander geneigten Tuben können um die Objektivachsen gedreht werden; dies gestattet ebenso wie beim Prismenfernrohr die Anpassung an den Abstand, welchen die Augenachsen des Beobachters voneinander haben. Normalsichtige oder Brillenträger haben das eine Okular, welches verstellbar ist, zunächst auf die


Abb. 177. Binokulare Lupe.

ringförmige Marke am Fassungsrohr einzustellen. Wenn die Sehschärfe der Augen ungleich ist, so stellt man mit dem Zahntrieb die Lupe für das rechte Auge scharf ein und verschiebt dann den linken Okularauszug, bis auch das linke Auge scharf sieht. Bei der binokularen Lupe für starke Vergrößerung (je nach dem Okularpaar 10, 20 oder 30mal) beträgt der Abstand vom Objektiv zum Gegenstand etwa 8 cm. Man bekommt ein sehr schönes körperliches Bild, das selbst bei der stärksten Vergrößerung noch ziemlich bedeutende Tiefenschärfe besitzt. Der Lupenkörper kann mit Schwalbenschwanzführung in verschiedene Stative eingesetzt und so auch schräggestellt werden (Abb. 178). Das objektive Sehfeld beträgt für die zehnfache Vergrößerung etwa 16 mm, für die dreißigfache noch 8 mm, ist also viel größer als beim gewöhnlichen Mikroskop.


Abb. 178. Binokulare Lupe.

Binokulares Mikroskop. Ähnlich wie die binokulare Prismenlupe ist das binokulare Mikroskop nach Greenough gebaut, welches je nach den eingesetzten Objektiven und Okularen Vergrößerungen von 4 bis 216 gestattet. Die Möglichkeit, mit beiden Augen zu beobachten, liefert nicht nur ein körperliches Bild mit Tiefenwirkung, sondern schont auch die Augen, weil das Arbeiten mit dem gewöhnlichen Mikroskop das Auge weit rascher ermüdet.

Binokularer Aufsatz. Den Vorteil des stereoskopischen Sehens erreicht man auch, indem man einen binokularen Tubus (Abb. 162 rechts oben) gegen den Einzeltubus wechselt. Hier werden die vom Objektiv kommenden Strahlen in einem Prisma mit halbdurchlässiger Silberschicht „physikalisch" geteilt, d.h. jeder einzelne Strahl wird gespalten, und zwar teils zur einen Seite reflektiert, teils durchgelassen und dann auf einer zweiten Fläche zur anderen Seite reflektiert. Auf beiden Seiten werden schließlich die Strahlen durch nochmalige Reflektion in die Okulare gelenkt. Die Okulare und die Prismen sind aufeinander abgestimmt, so daß die optische Tubuslänge und damit die Vergrößerung rechts und links genau gleich ist; andernfalls würde man kein gutes körperliches Bild erhalten[1]. Auch hier wird auf den Augenabstand eingestellt.

[1] Einen solchen binokularen Aufsatztubus (diesmal von Zeiß) habe ich mir

Herstellung von Kohlenschliffen. Um für die genauere mikroskopische Untersuchung die Fläche der Kohle einzuebnen, schleift man sie nach dem Vorbilde der Metallographie. Bei der Kohle ist aber die Herstellung von Schliffen deshalb schwierig, weil sie leicht ausbröckelt, auch wenn

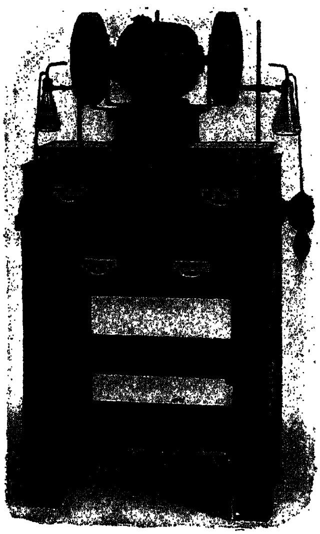


Abb. 179. Poliermaschine.



Abb. 180. Horizontalpoliermaschine.

man noch so vorsichtig schleift. Man kann dies Ausbröckeln einigermaßen verhindern, wenn man die Kohle mit Karnaubaharz tränkt. Zur Herstellung von Schliffen werden von den Metallographen Schleif- und Poliermaschinen benutzt. Abb. 179 zeigt eine Poliermaschine mit zwei senkrechten Scheiben und Abb. 180 eine einspindlige elektrische Horizontal-Poliermaschine von Dujardin in Düsseldorf. Abb. 181 zeigt eine einfache Schleifmaschine für Riemenantrieb mit senkrechten Scheiben;

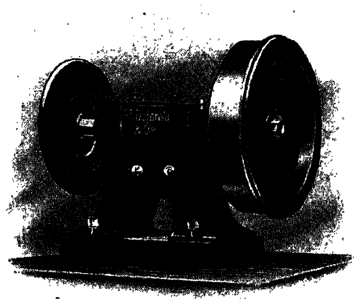


Abb. 181. Schleifmaschine.

seinerzeit beschafft, um den Angriff von dünnen Drähten zu beobachten. Bei 90facher Vergrößerung erhielt ich in diesem Falle mit ihm ein noch etwas besseres Bild als mit dem binokularen Mikroskop. Für die Untersuchung von Elektroden wird meines Erachtens die binokulare Lupe am geeignetsten sein.

sie trägt auf der einen Seite eine Schmirgelscheibe zum Grobschleifen, auf der anderen Seite eine gußeiserne Scheibe zum Aufziehen von Schmirgelpapier. Zum Aufziehen der Schmirgelpapierscheiben in den verschiedenen Körnungen dienen weitere Gußscheiben, welche nach Bedarf ausgewechselt werden. Zum Aufkleben des Schmirgelpapiers wird ein Spezialleim in Stangen geliefert. Statt sich durch diese Schleif- und Poliermaschinen die Arbeit zu erleichtern, kann man auch schlecht und

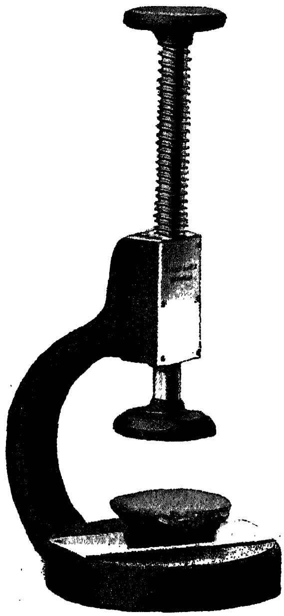


Abb. 182. Handpresse zum Ausrichten.

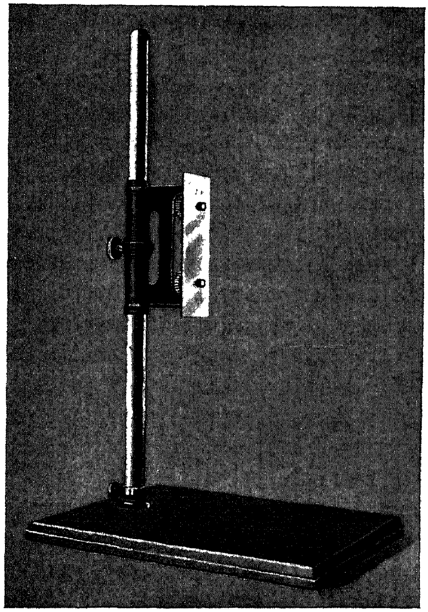


Abb. 183. Kamerastativ, um von oben aufzunehmen.

recht von Hand auf immer feinerem Schmirgelpapier das zu untersuchende Kohlenstück eben schleifen. Zur Untersuchung klebt man das Stück mit Wachs oder besser Plastilin auf eine passende Unterlage, und zwar so, daß die angeschliffene Fläche waagerecht liegt. Dies Ausrichten wird sehr einfach durch die Handpresse (Abb. 182) besorgt.

Photographische Kamera. Um zu photographieren, kann man eine gute Kamera von der üblichen Bauart verwenden, vorausgesetzt, daß sie doppelten Auszug besitzt. Um den etwa auf einen Schemel gelegten Gegenstand von oben her zu photographieren, habe ich mir für meine 9 × 12-Kamera das Stativ (Abb. 183) bauen lassen. Die beiden Löcher mit Gewinde, welche die Bodenplatte meiner Kamera besitzt, dienen dazu, sie mit Hilfe der beiden Schrauben an der Schiene

zu befestigen, welche an der mit Millimeterteilung versehenen Stange des Stativs verschoben werden kann. Durch diese Befestigung mit den beiden Schrauben ist die Kamera senkrecht ausgerichtet. Auf diese Weise kann ich Aufnahmen bis zu etwa $^2/_3$ natürlicher Größe machen; starkes Abblenden erhöht die Schärfe des Bildes.

Objektiv von kurzer Brennweite. Um von natürlicher Größe bis aufwärts zu etwa sechsfacher Vergrößerung Aufnahmen zu machen, vertausche ich das gewöhnliche Objektiv von 165 mm Brennweite mit einem Objektiv von kurzer Brennweite. Ich habe hierfür ein Altin-Objektiv von Voigtländer mit Irisblende. Zweckmäßig merkt man sich für jede Vergrößerung den Abstand des Objektivs vom Gegenstand und die Länge des Auszuges, um das nächste Mal gleich ungefähr richtig einzustellen.

Einstellen mit Lupe. Zur scharfen Einstellung setze ich auf die Mattscheibe eine Lupe mit etwa sechsfacher Vergrößerung auf. Es empfiehlt sich, durch Einfetten die Mattscheibe durchsichtiger zu machen. Bei der Beleuchtung mit Bogenlicht muß man sorgfältig darauf achten, daß die ganze aufzunehmende Fläche möglichst gleichmäßig belichtet ist.

Mikrophotographie mit gewöhnlicher Kamera. Dieselbe Kamera kann man auch auf das Mikroskop setzen, indem man aus der Kamera das Objektiv herausnimmt und es durch ein Verbindungsstück ersetzt, welches lichtdicht auf den Tubus des Mikroskops paßt. Mit dieser Anordnung habe ich jahrelang gut gearbeitet, bis mir die Aufsatzkamera von Leitz das Arbeiten erleichterte.

Aufsatzkamera von Leitz. Die „Mikro-Aufsatzkamera" von Leitz trägt seitlich eine Lupe, mit welcher man das Bild scharf einstellen kann. Statt des Mikroskopobjektives wird ein periplanatisches Objektiv, meist von achtfacher Vergrößerung, verwendet, welches in den Unterteil der Aufsatzkamera eingesetzt ist. Außerdem enthält der Aufsatz einen selbstspannenden Räderverschluß für Zeit und Moment, der, wie üblich, mit dem Drahtauslöser betätigt wird, und über dem auswechselbaren Okular ein Teleobjektiv. Abb. 184 zeigt die ganze Anordnung.

In das Beobachtungsfernrohr wird das Bild durch ein Prisma abgelenkt, welches nach oben durch seinen Silberspiegel etwa $^3/_4$ des Lichtes durchläßt. Es kann mit Hilfe eines Drahtauslösers während der Aufnahme ausgeschaltet werden; wenn man mit voller Lichtstärke arbeiten will; eine kleine Schraube am Auslöser erlaubt es, die Ausschaltlage festzuhalten. Vor dem Einstellen des Bildes ist das Okular des Beobachtungsfernrohres scharf auf den Faden im Gesichtsfeld einzustellen; dann ist, sobald das Bild im Fernrohr scharf erscheint, auch auf der Mattscheibe und auf der an ihre Stelle gesetzten photographischen Platte das Bild scharf. Gegenüber dem Einstellen auf der Mattscheibe bedeutet dieses Einstellen mit dem Fernrohr eine große Erleichterung. Nach Wunsch kann man das achtmal vergrößernde Okular, indem man den

untersten Teil des Aufsatzes abschraubt, gegen ein anderes Okular, etwa mit vierfacher oder sechsfacher oder zwölffacher Vergrößerung austauschen. Die schwächer vergrößernden Okulare schränken aber das Bild durch ihre Blenden ein, so daß die Platte nicht voll ausgenutzt wird; die stärkeren Okulare werfen nur den mittleren Teil des im Fernrohr sichtbaren Bildes auf die Platte. Für die Plattengröße 9 × 12 wiegt die Aufsatzkamera mit Kassette und Platte 525 g. Wenn der Tubus des Mikroskops in seiner Führung leicht gleitet, so muß man seine Stellung dadurch sichern, daß man z. B. einen Pappstreifen von der richtigen Breite herumlegt und ihn mit einem Gummiring festhält. Eine kleinere Ausführung für Plattengröße $4^1/_2 \times 6$ cm wiegt mit Kassette und Platte nur 300 g. Eine ähnliche aufsetzbare Mikrokamera für die Plattengröße $6^1/_2 \times 9$ cm wird von der Emil Busch AG. in Rathenow hergestellt.

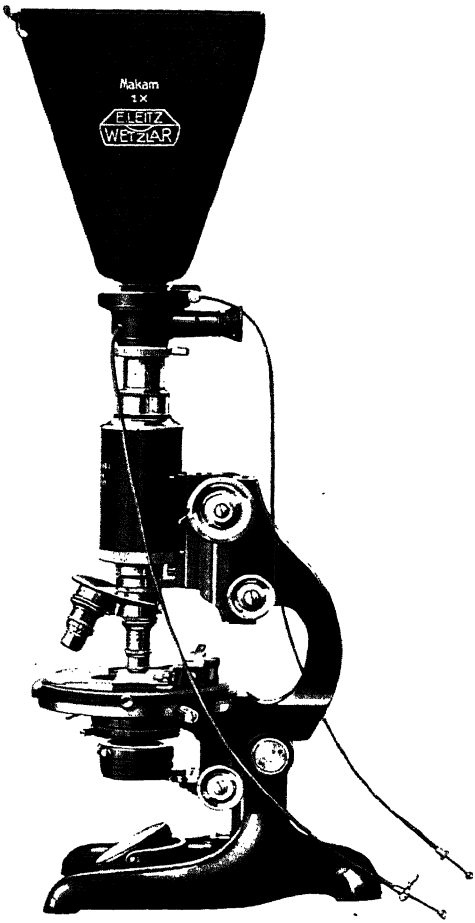


Abb. 184. Mikro-Aufsatzkamera.

Großes Metallmikroskop. Wer genügend Geld hat, um sich eine möglichst vollkommene Einrichtung zur Mikrophotographie von Schliffen zu beschaffen und dadurch die Arbeit wesentlich zu erleichtern, wird z. B. das große Metallmikroskop nach Le Chatelier etwa in der neuesten Ausführung von Winkel-Zeiß, Göttingen, nehmen. Bei solchen großen Einrichtungen sind Mikroskop, Lampe und Kamera auf einer optischen Bank verschiebbar. Der Gegenstand wird mit seiner angeschliffenen Fläche nach unten auf den Tisch *Ti* (Abb. 185) gelegt, der eine kreisförmige Öffnung hat. Das unter dem Tisch angeordnete Mikroskop wird scharf eingestellt, indem man den auf drei kräftigen Säulen *S* ruhenden Tisch mit Zahn und Trieb *Tr* bewegt[1]. Die Feinbewegung *Mi* hebt und senkt das Objektiv *Ob*.

[1] Um störende Schwingungen des Gebäudes möglichst zu dämpfen, werden Rollen *GG* durch Federn an die Stützen gepreßt.

Von den drei Rohren, welche an dem Kasten unterhalb des Objektivs sitzen, enthält das eine die Aperturblende R_1, die Beleuchtungslinse B, einen Schlitz für Lichtfilter und Mattscheibe Fi, die Gesichtsfeldblende R_2 und das Beleuchtungsprisma nach Le Chatelier (Spiegelprisma mit angeschliffener Beleuchtungslinse). Das zweite Rohr trägt ein Okular für die Beobachtung Ok, das dritte ein Okular P für die Aufnahme.

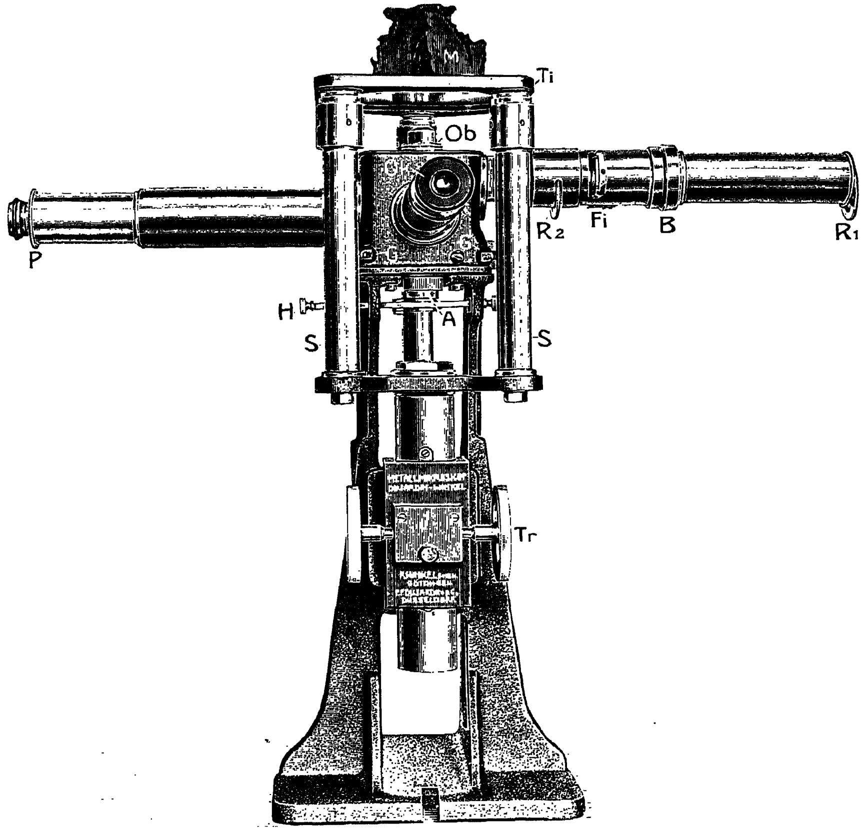


Abb. 185. Großes Metallmikroskop.

Durch Drehen eines total reflektierenden Prisma wird mittels des Hebels H vom Ok auf P umgeschaltet. In Abb. 186 ist das Mikroskop St zusammen mit der Kamera K, der Beleuchtungslinse C und der Bogenlampe L auf einer genau gehobelten Gußeisenschiene mittels Schlitten verschiebbar und festklemmbar befestigt. Die Linse C bildet den positiven Lichtkrater scharf auf R_1 ab; die an C angebaute Irisblende regelt die Helligkeit des Kraterbildes und die Revolverscheibe R_1 mit vier Öffnungen von verschiedener Größe gestattet das Kraterbild bis

fast zu Punktgröße abzublenden und dadurch die Kontraste im Bilde zu steigern. Die Revolverscheibe R_2 erlaubt, auch die beleuchtete Stelle des Schliffes einzuengen. Damit nicht unnötig schief eintretendes Licht

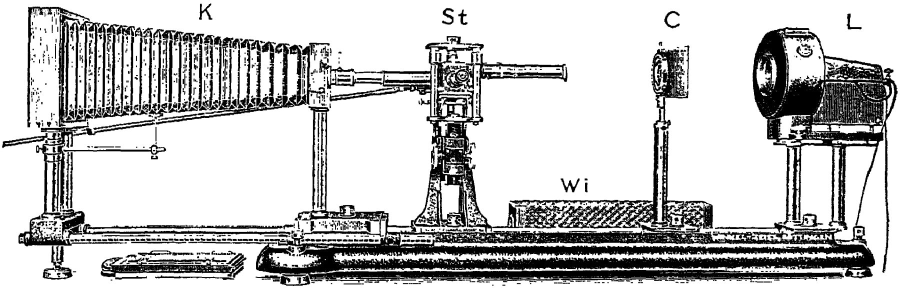


Abb. 186. Großes Metallmikroskop mit Kamera und Lampe.

schädliche Reflexe verursacht, wählt man diejenige Öffnung von R_2, welche die im Okular sichtbare Stelle des Schliffes gerade freiläßt.

Um den ganzen Apparat gegen Erschütterungen zu sichern, welche besonders bei starken Vergrößerungen sehr stören, kann an Stelle der drei die Bank tragenden Füße eine Dämpfungsvorrichtung angebracht werden, welche durch Schrauben ein- und ausgeschaltet wird. Jeder Fuß *2* (Abb. 187) durchsetzt den Deckel *1* seines dosenförmigen Untersatzes und ruht auf dem Teller *4*, der an acht Wurmfedern *5* hängt. Weil die Achsen dieser Federn auf einem Kegelmantel liegen, so werden größere seitliche Schwingungen verhindert. Zur Dämpfung liegt außerdem im Dosendeckel eine Platte aus Schwammgummi *6*, durch welche der Fuß gerade leicht hindurchgeht. Indem man in dem hohlen Fuß die Schraube *7* hinabschraubt, bis sie unten auf den Boden der Dose stößt, schaltet man die Federn aus, was man während längerer Arbeitspausen immer tun soll, um die Federn zu entlasten.

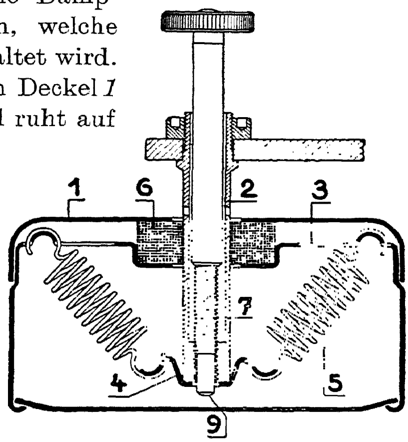


Abb. 187. Dämpfungsvorrichtung.

Messen der Vergrößerung. Ungefähr kann man die Vergrößerung schätzen, indem man mit dem einen Auge durch das Mikroskop blickt und mit dem anderen Auge gleichzeitig auf einen in der Sehweite liegenden Maßstab schaut. Bei gutem Willen kann man beide Bilder zur

Deckgläschen. Bei der Mikrophotographie kann man die Vergrößerung messen, indem man ein Objektivmikrometer, gewöhnlich auf polierter Metallfläche 1 mm in $^1/_{100}$ geteilt, hell beleuchtet und auf die Mattscheibe einen Millimetermaßstab legt, den man sich leicht auf Millimeterpapier selbst herstellen kann. Wenn man auf dem Papier die ganzen und halben Zentimeter recht kräftig mit schwarzer Tusche gekennzeichnet hat, so macht der Vergleich des auf der Mattscheibe sichtbaren Bildes mit dem daran gelegten Papiermaßstab keine Mühe.

Körperliche Aufnahmen. Ebenso wie man mit der gewöhnlichen Kamera zwei Aufnahmen für das Stereoskop gewinnen kann, indem man für die zweite Aufnahme die Kamera parallel um den Augenabstand verschiebt (nicht mehr als 7 cm), so kann man auch bei Mikroaufnahmen zuerst eine Aufnahme machen und dann den Gegenstand auf dem Kreuztisch parallel verschieben, und zwar um 28 mm, geteilt durch die Vergrößerung, also z. B. bei 30facher Vergrößerung um rund 1 mm. Bei beiden Aufnahmen muß die Beleuchtung gleich sein. Diese Bedingung ist gewöhnlich erfüllt, wenn der Abstand der Lichtquelle im Verhältnis zur Verschiebung groß ist. Andernfalls liegen die Schatten bei beiden Aufnahmen so verschieden, daß die beiden Bilder nachher im Stereoskop nicht zu einem einwandfreien Raumbild verschmelzen. Wenn man die beiden Abzüge nebeneinander aufklebt, so darf man nicht vergessen, links und rechts, oben und unten zu vertauschen. Derartige Stereoaufnahmen haben mir z. B. beim Ausdeuten des Gefüges angeätzter Elektrodenflächen gute Dienste geleistet. Ebenso wie die unmittelbare Betrachtung mit der binokularen Lupe läßt die Stereophotographie Eigenheiten der rauhen Fläche viel besser als das einfache flache Bild erkennen.

Photographische Platten und Papiere. Ebenso wie die Auswahl zwischen den Mikroskopen und den photographischen Apparaten der guten deutschen Firmen der Entscheidung des Lesers überlassen bleiben soll, so spielt auch bei der Auswahl der Plattensorte die eigene Neigung des Arbeitenden eine große Rolle. Schwört ja doch fast jeder, der photographiert, auf die von ihm benutzten Platten, Papiere und Entwickler. Ich benutze gewöhnlich die Chromoisolarplatte der Agfa, welche kleine Abweichungen in der Belichtung ohne Schaden erträgt. Zum Entwickeln benutze ich Metholhydrochinon der Agfa. Von den vielen Sorten photographischer Papiere gebe ich für meine Mikrophotographien, den Kunstlichtpapieren „Normal“ und „Extrahart“ den Vorzug. Mit „Extrahart“ kann man noch aus einer Platte mit sehr großen Unterschieden ein leidliches Bild herausholen. Flaue Negative kann man durch Verstärken (ich verwende den Quecksilberverstärker der Agfa) oft noch brauchbar machen, ebenso aus zu dunklen Negativen durch vorsichtiges Abschwächen mit Ammoniumpersulfat viel gewinnen.

Jedenfalls entwickle man, wenn irgend möglich selber seine Aufnahmen und führe über alle Einzelheiten ordentlich Buch! Nur dann wird man die Mikrophotographie beherrschen lernen; d. h. genau genommen, lernt man nie aus. Immer wieder muß man sich für fast jeden schwierigeren Fall die geeignete Vergrößerung, Beleuchtung und Belichtungsdauer ausproben. Gerade die gute Aufnahme von undurchsichtigen und unebenen Gegenständen, mit denen man es bei der Untersuchung der Kohlenelektroden und ihrer Rohstoffe gewöhnlich zu tun hat, ist nicht leicht, aber lohnt sehr die aufgewendete Mühe.

Belichtungsdauer. Zum Finden der rechten Belichtungsdauer ist eine besondere Kassette nützlich, bei welcher die Platte hinter einem Spalt verschoben wird, so daß man auf derselben Platte eine Anzahl Aufnahmen bei verschiedener Dauer machen kann. Wenn das Bild auf seiner ganzen Fläche gleichmäßig hell ist, so kann man einfach eine gewöhnliche Kassette für das Ausproben zurecht machen, indem man auf der Innenseite des Schiebers in gleichen Abständen Bleistiftstriche zieht und nach jeder Aufnahme den Schieber bis zum nächsten Strich weiter herauszieht. Beim Entwickeln erkennt man, welcher Streifen des Bildes am besten herauskommt und wählt danach die Belichtungsdauer.

Fehler auf der Platte. Eine unscharfe Aufnahme kann auch durch Staub auf Objektiv oder Okular verschuldet sein. Wenn man das Okular dreht, so drehen sich die Flecken auf ihm mit. Man reinige es dann mit einem sehr weichen Haarpinsel oder, wenn nötig, mit weichem Leinenläppchen, das mit absolutem Alkohol befeuchtet ist. Wasser schadet dem optischen Glase. Nach dem Wässern hinterbleiben auf der Rückseite der Platte nicht selten Wasserflecken, welche auf den Abzügen als Ringe erscheinen. Man wasche sie vorsichtig ab!

Entwickeln. Beim Entwickeln sollen die „Lichter", die schwärzesten Stellen des Negativs, tief in die Schicht eindringen und auf der Rückseite erscheinen. Eine überbelichtete Platte schwärzt sich zu rasch, und der Entwickler hat nicht Zeit, die Platte durchzuarbeiten. Deshalb muß man überbelichtete Platten mit verdünnterem Entwickler behandeln und durch Zusatz 10%iger Jodkaliumlösung die Entwicklung verlangsamen. Ich helfe mir, im Falle die Platte sich rasch zu schwärzen beginnt, manchmal dadurch, daß ich die Platte sofort mit Wasser abspüle und dann wieder in den Entwickler bringe. Durch geschicktes Entwickeln kann man viel gutmachen. Es lohnt sich, die Entwicklung öfter mit der Stoppuhr zu verfolgen. Natürlich muß das Bad die richtige Temperatur haben (etwa 20°).

Fixieren. Im Fixierbad verschwinden, wenn es frisch ist, die milchigen Trübungen der Platte bald; man läßt aber die Platte noch längere Zeit im Fixierbad ($^1/_2$ bis 1 Stunde), damit alles lichtempfindliche Silbersalz beseitigt wird. Wenn das Fixierbad (ich arbeite mit dem sauren

Fix[illegible] trübe wird und träge arbeitet, so gieße man es fort! Ich [illegible] immer eine frische Lösung des Fixiersalzes vorrätig. Ein am Vormittag mäßig benutztes Entwicklerbad kann man zudecken und am Nachmittag noch weiter benutzen. Im allgemeinen gießt man es aber fort und bereitet sich die verdünnte Lösung von neuem. Ist der Vorrat an Hydrochinonentwickler dunkel geworden, so arbeitet das mit ihm bereitete Bad nicht mehr gut, und man kaufe eine frische Flasche. Ausgiebiges Wässern in fließendem Wasser (mindestens $^1/_2$ Stunde) ist ebenfalls vonnöten[1].

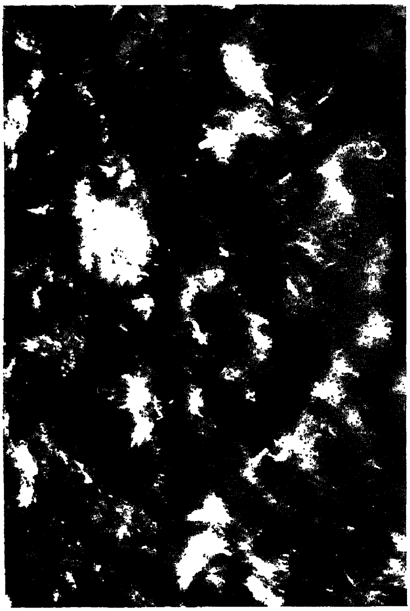


Abb. 188. Ohne Mattscheibe. V = 128.

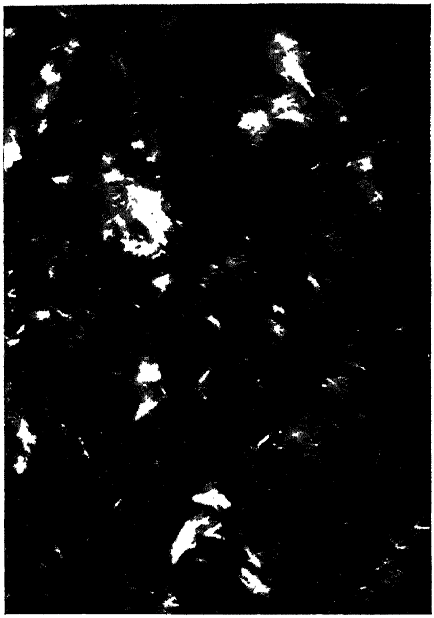


Abb. 189. Mit Mattscheibe. V = 128.

Ein Beispiel. Um den Einfluß verschiedenartiger Beleuchtung und Behandlung zu zeigen, habe ich die folgenden Aufnahmen Abb. 188—193 gemacht. Es handelt sich um eine harte Kohlenplatte (für Dynamobürsten *QS* von Carbone, vgl. Kapitel 15). Die Aufnahme Abb. 188 ist in dem sehr schräg, unter einem Winkel von 15°, auffallenden Licht der Bogenlampe gemacht worden, und zwar ohne Mattscheibe; bei dieser grellen Beleuchtung treten an den stark reflektierenden Stellen des Gefüges Überstrahlungen auf, trotzdem eine Isolarplatte verwendet

[1] Von den vielen kleinen Lehrbüchern der Photographie gefällt mir der „David" besonders gut. Über Mikrophotographie enthält das treffliche Lehrbuch der Metallographie von Goerens gar manches auch für uns Nützliche.

wurde, die „lichthoffrei“ ist. Die Dämpfung durch eine Mattscheibe (Abb. 189) läßt deshalb das Bild klarer erscheinen; die Umrisse der scharfkantigen Splitter unten rechts zeigen dies besonders deutlich. Abb. 190 ist mit Blaufilter aufgenommen; Abb. 191 unterscheidet sich von ihr nur dadurch, daß der Abzug länger entwickelt wurde. Durch die längere Entwicklung sind Feinheiten in den hellen Flecken zum Vorschein gekommen, dagegen in den weniger hellen Teilen wieder undeutlich geworden. Auch durch Verwendung von extrahartem Papier



Abb. 190. Mit Lifa-Blaufilter; Abzug schwächer durchentwickelt.



Abb. 191. Mit Blaufilter; Abzug stärker durchentwickelt. V = 128.

läßt sich diese Ungleichartigkeit des Bildes bei schroffen Unterschieden der Helligkeit nicht immer ausschalten, weil sie im Wesen des physikalisch-chemischen Vorganges, welcher das Bild hervorruft, begründet ist. Abb. 192 ist mit senkrecht auffallendem Licht, mit dem Vertikal-Illuminator nach Nachet, hergestellt; im Gegensatz zur schiefen Beleuchtung ist hier wenig vom Gefüge zu erkennen, ähnlich wie eine Fliegeraufnahme bei hochstehender Sonne nur ein ausdrucksloses Bild vom Gelände gibt, weil die langen Schatten fehlen, welche Höhen und Tiefen betonen[1]. Alle diese 5 Aufnahmen sind bei 128facher Vergrößerung

[1] Die Schatten können freilich bei der Beurteilung des Gefüges auch zu Irrtümern verleiten. Je nach dem Einfallswinkel des Lichtes kann das Bild ganz verschieden aussehen. Je schräger das Licht fällt, um so schroffer treten naturgemäß die Höhenunterschiede hervor.

gema[illegible] 16 mal auf das Objektiv und 8 mal auf das peripla[illegible]kular der Aufsatzkamera entfällt. Abb. 193 schließlich [illegible]nkelfeldbeleuchtung durch Ultropak aufgenommen, und [illegible] bei 88facher Vergrößerung; hier treten eine Menge von Einzel[illegible] hervor, welche bei anderer Beleuchtung verborgen blieben. Es ist damit aber nicht gesagt, daß die Verwendung von Ultropak



Abb. 192. Mit Vertikal-Illuminator. V = 128.

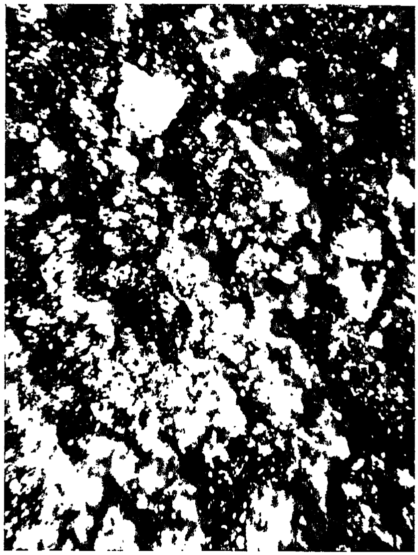


Abb. 193. Mit Ultropak. V = 88.

in allen Fällen zweckmäßig ist. Man muß sich für jede Aufgabe, wie ich noch einmal betonen möchte, mit Geduld die besten Bedingungen erarbeiten.

Elftes Kapitel.

Die Verwendung der Kohlenelektroden im elektrischen Ofen.

Bei den Verfahren, welche den elektrischen Strom benutzen, um die für manche chemische Umsetzungen nötige sehr hohe Temperatur zu erzeugen, den elektrothermischen Verfahren, wird die praktisch unschmelzbare Kohle als Elektrode verwendet.

Karbid. In erster Linie steht hier nach Alter und Umfang die Gewinnung von Kalziumkarbid aus gebranntem Kalk und Kohle nach der Gleichung

$$CaO + 3\,C = CaC_2 + CO\,.$$

Diese Umsetzung erfordert eine Ofentemperatur von etwa 1700—1900°. Die Anfänge der Karbidindustrie liegen 40 Jahre zurück; ihre Begründer sind der Amerikaner Willson, der zufällig jene Umsetzung beobachtete, und der Franzose Bullier, der als Assistent von Moissan dessen grundlegende Arbeiten technisch verwertete. Die ältesten Karbidöfen waren dem Schachtofen der Eisenhütten nachgebildet; sie besaßen einen ausfahrbaren, mit Kohle gefütterten Herd, welcher mit dem einen Pol der Stromquelle (Gleichstrom oder Einphasenwechselstrom) verbunden war und in den von oben her die andere Elektrode, ein Kohlenprisma, hineinhing. Weil es nicht glückte, den erhofften Abstichbetrieb regelrecht

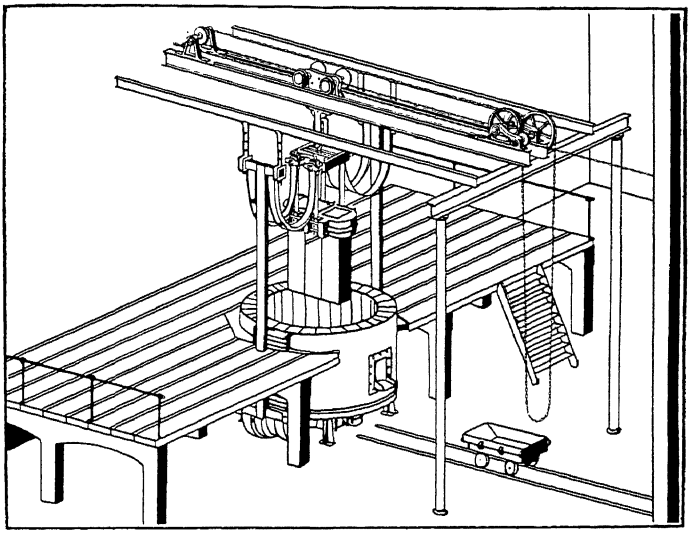


Abb. 194. Schema eines Karbidofens.

durchzuführen, begnügte man sich zumeist damit, einen großen Karbidblock zu erschmelzen. Man gab nach und nach die Beschickung zu und hob im Maße, als sich Karbid bildete, die obere Elektrode, bis schließlich der Herd gefüllt war. Dann zog man die Elektrode heraus und fuhr den Herd aus. Nach einem Jahrzehnt hatte man die Schwierigkeiten im wesentlichen überwunden und der Karbidofen besaß die in Abb. 194 schematisch dargestellte Form. In den runden Herd, dessen mit Kohle ausgefütterter Boden an die eine Stromzuleitung angeschlossen ist, hängt als obere Elektrode ein Paket aus mehreren prismatischen Kohlenblöcken hinein, welchen durch die herumgelegte Fassung der Strom zugeführt wird. Zum Abstechen wird die Kruste von erstarrtem Karbid, welche die Abstichöffnung verschließt, mit einer Eisenstange durchstoßen; das Karbid fließt dann in die herangefahrene Pfanne. Sobald die Elek-

trode[illegible]stummel abgebrannt sind, wird der Ofen abgeschaltet, das [illegible] herausgefahren und ein neues Paket eingespannt.

Abb. 195 zeigt eine Reihe solcher kleinen Öfen für 550 kW Einphasenwechselstrom. In jenen Jahren gewann der Dreiphasenstrom den Vorrang, und dieser Entwicklung paßte sich der Karbidofen an. Die Zahl der oberen Elektroden wurde verdreifacht, und der Bodenanschluß fiel fort, ein wesentlicher Vorteil, weil die Kontakte am Boden durch die Hitze litten und nicht bequem zugänglich waren. Im Laufe der Jahre wurden die Öfen immer größer und ihre Belastung mit Strom immer höher. Abb. 196 zeigt einen 4000-kW-Ofen im Betrieb. Während

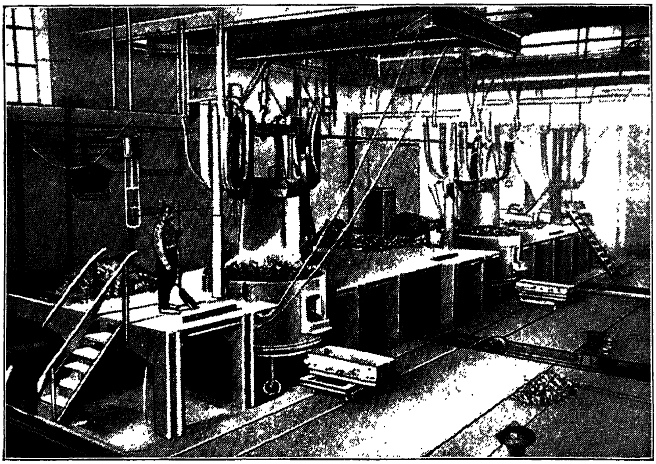


Abb. 195. Kleine Karbidöfen.

des Weltkrieges wurden die beiden aus Mitteln des Deutschen Reiches erbauten riesigen Karbidwerke mit 8000-kW-Öfen ausgerüstet. In einzelnen Fällen ist man später auf 12000 und 16000 kW gegangen.

Für die kleinen Öfen genügten Kohlen, z. B. von 270 × 270 mm Querschnitt und 1600 mm Länge; die erwähnten 8000-kW-Öfen arbeiten mit Elektroden von 500 × 500 mm Querschnitt und 1800 mm Länge, die jede über 700 kg wiegen. Bei diesen großen Öfen werden jedem der drei Herde bis 30000 A zugeführt. Weil aber die großen Kohlenquerschnitte nicht höher als mit etwa 3—4 A/cm² belastet werden dürfen, so wird jedes Paket aus 3 oder 4 Kohlen zusammengesetzt. Das Gewicht eines solchen Paketes beträgt 2—3 t. Die Zahl der Kohlen ist in den Paketen nicht gleich, weil sich im allgemeinen die 3 Herde verschieden verhalten, indem einer von ihnen viel mehr Strom aufnimmt und einer unterbelastet ist. Man unterscheidet die starke oder wilde Phase von der mittleren und von der schwachen oder toten Phase; während an

der schwachen Phase die Kohlenelektroden ganz dunkel aus der Beschickung herausragen, glühen sie an der wilden Phase lebhaft. Die Ursache für diese störenden Unterschiede liegt darin, daß die Wechselströme der 3 Zuleitungen sich gegenseitig beeinflussen, wodurch von der dritten Phase Energie fortgenommen und zur ersten Phase übertragen wird. Die mittlere Elektrode ist niemals tot oder wild. Wenn man die Primärleitungen rechts und links vertauscht, so wird die vorher tote Phase wild und die vorher wilde jetzt tot. Durch zweckmäßiges Führen der Leitungen kann man jedoch die drei Phasen ziemlich ausgleichen.

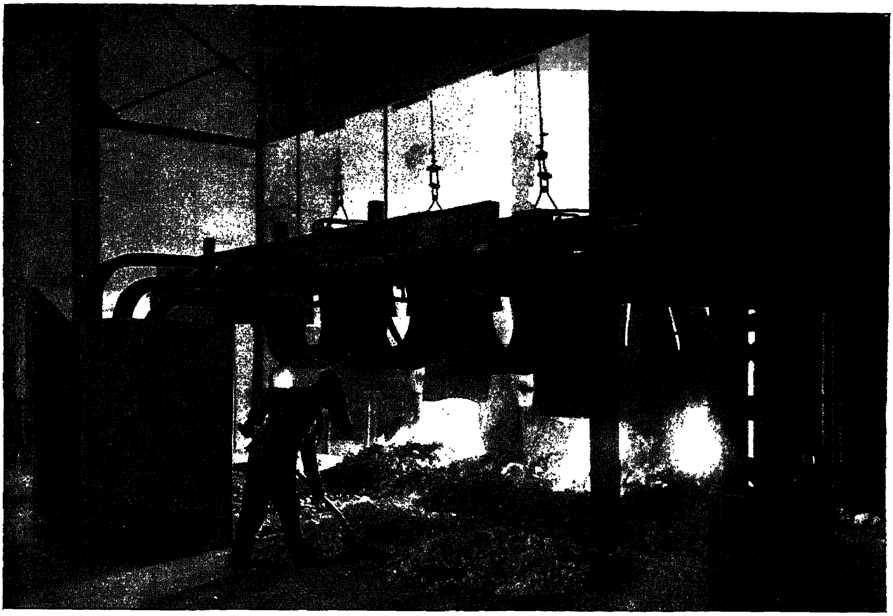


Abb. 196. 4000 kW-Karbidofen.

Elektrodenverbrauch im Karbidofen. Theoretisch nimmt die Elektrodenkohle an der Karbidbildung nicht teil. Praktisch verbraucht man aber auf 1 t fertiges Karbid mindestens etwa 18 kg Elektrodenkohle. Die wesentlichste Rolle spielt hierbei der Abbrand an der Luft. Bei der Herstellung des Elektrodenpaketes muß man unbedingt dafür sorgen, daß zwischen den einzelnen Kohlen keine Fugen klaffen. Ausschmieren der Fugen etwa mit Graphitbrei nützt nicht viel; denn beim Gebrauch brennt nachher die Fuge wieder frei und in ihr strömt die Luft wie durch einen Kamin empor, brennt die Kohle aus, so daß sie sich einschnürt, nunmehr im verringerten Querschnitt stärker erglüht, weiter ausbrennt und schließlich abbricht oder vorzeitig ausgeschaltet werden muß. Man

muß auch vor dem Vereinigen zum Paket die Prismen, wenn nötig, sorgfältig bearbeiten. Gern schützt man durch einen Mantel das Paket vor dem Abbrand durch den Luftsauerstoff, indem man Schamotte, Asbestfasern u. dgl. aufbringt und dieser Schutzschicht durch weitmaschiges Drahtnetz oder dünnes Eisenblech den nötigen Halt gibt. Wenn die Oberfläche der Elektrode rauh genug ist, so haftet eine richtig zusammengesetzte Schutzpaste ohne weiteres genügend. Auch beim Ummanteln ist große Sorgfalt vonnöten; denn wenn sich der Mantel beim Erhitzen ablöst, so wird durch den klaffenden Spalt die Luft emporsteigen und die Elektrode rascher abbrennen, als wenn sie gar keinen Mantel trüge.

Elektrodenfassung. Sehr wichtig ist ein guter Kontakt zwischen der Elektrodenfassung und der Elektrode. Bei den kleinen Öfen hatte man damit verhältnismäßig geringe Schwierigkeiten, weil der zugeführte Strom nur einige 1000 Ampere betrug und das Gewicht der Elektrode verhältnismäßig klein war. Bei den älteren Scheitelfassungen wird auf den Scheitel der Elektrode eine Gußeisenplatte gepreßt. An sie sind mit starken Bügeln eiserne Bolzen geschraubt, welche durch Löcher in dem Elektrodenkopf gehen oder in Hohlkehlen an den Seiten der Kohle Halt finden. Die Eisenplatte trägt oben Fortsätze, mit denen sie am Flaschenzug hängt und an denen die biegsamen Stromkabel angeschraubt sind. Diese Scheitelfassung hat den Vorzug, daß sie dem ganzen Querschnitt der Elektrode gleichmäßig den Strom zuführt, aber den Nachteil, daß die Berührungsfläche durch die Last der Kohle auf Zug beansprucht wird. In dieser Hinsicht ist die Zangenfassung günstiger, bei welcher der schwalbenschwanzartig eingeschnittene Kopf der Elektrode zwischen Eisenbacken gepreßt wird. Hier drückt die Last der Kohle auf die Kontaktflächen. Abb. 197 zeigt diese Zangenfassungen samt ihren Zuführungen und Trägern vor dem Herd eines noch nicht in Betrieb genommenen Ofens.

Der Mannigfaltigkeit der im Gebrauch befindlichen Fassungen entspricht die große Zahl von Kopfformen der Elektroden, von denen Abb. 198 eine Anzahl zeigt. Diese Vielfältigkeit ist eine rechte Plage und schreit nach Normung, bisher leider vergeblich. Eine Entschuldigung dafür ist, daß man bisher eine ideale, allen Anforderungen genügende Fassung noch nicht gefunden hat.

Das Anbringen der Anschnitte und Aussparungen am Elektrodenkopf wird in der Elektrodenfabrik nach dem Pressen an den grünen Elektroden vorgenommen. An den gebrannten Elektroden hat früher meist der Verbraucher z. B. den Schwalbenschwanz für die Zangenfassung ausgemeißelt, was wegen des verhältnismäßig groben Gefüges und der Härte der gebrannten Kohlen viel Zeit kostete und wegen mangelhafter Werkzeuge nicht sehr genau wurde. Heute wird die Elektrode ganz

fertig geliefert, so daß sie nur gebündelt und in der Fassung befestigt zu werden braucht[1].

Die Berührungsflächen zwischen Fassung und Kohle müssen sehr sorgfältig zusammengepaßt werden. Zu scharfes Anziehen der Schrauben nutzt wenig; im Gegenteil kann dann die Kohle platzen, weil sie hohen einseitigen Druck schlecht verträgt. Bei nicht tadellosem Kontakt ent-

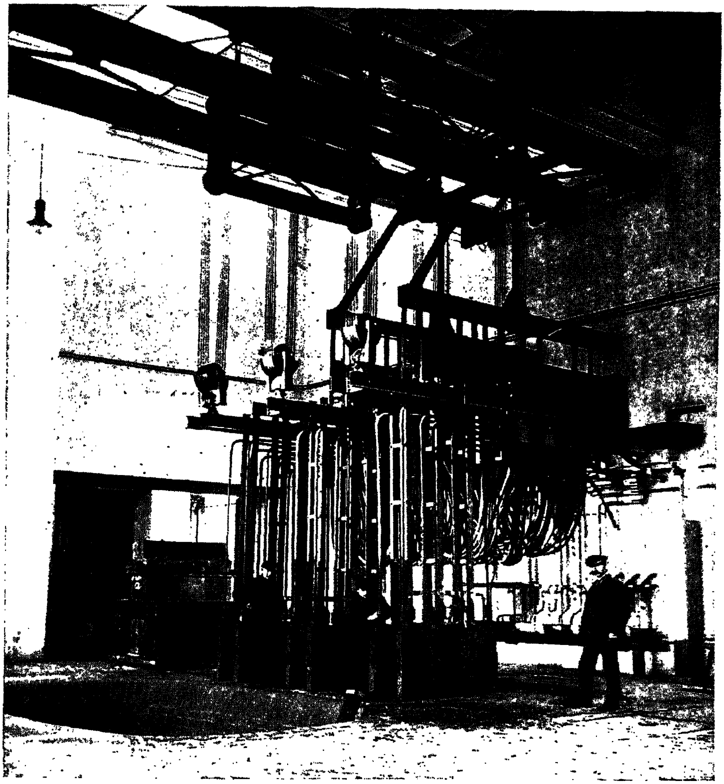


Abb. 197. Zangenfassungen.

wickelt sich wegen des zu großen Übergangswiderstandes eine solche Hitze, daß der Kopf der Elektrode erglüht und auszubrennen beginnt; dadurch verschlechtert sich der Kontakt weiter und die ganze Fassung verschmort. Früher suchte man sich durch Zwischenlagen von Kupferdrahtnetz oder von Graphitkitt zu helfen, was aber bei hoher Belastung

[1] Man muß aber die angelieferten Kohlenelektroden vor der Verwendung erst von Feuchtigkeit befreien, also warm und trocken lagern, bevor man sie in den Ofen bringt. Feuchte oder gar nasse Kohlen können in der Ofenhitze brechen.

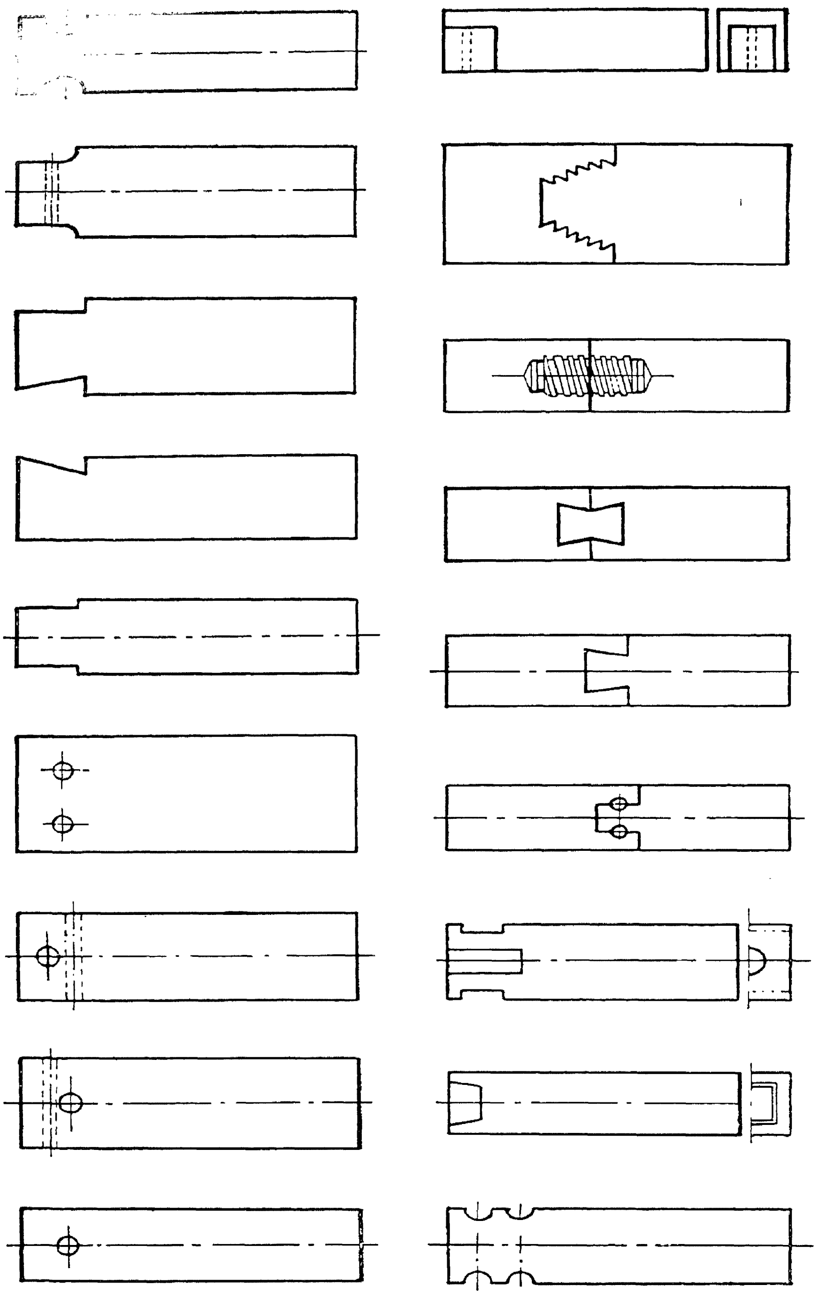


Abb. 198. Kopfformen von Ofenelektroden.

oft mehr schadete als nutzte. Die Zangenfassungen werden bei jedem Paketwechsel zweckmäßig mit dem Sandstrahlgebläse ausgeblasen, um die metallische Berührungsfläche wieder herzustellen.

Auch bei bestem Kontakt würden die gewaltigen Ströme Fassung und Elektrodenkopf allzu hoch erhitzen, wenn die Fassungen nicht ausgiebig durch fließendes Wasser gekühlt würden. Am besten gießt man in die Backen bei der Herstellung eiserne Kühlrohre ein, welche das Wasser zwangsläufig an die gefährdeten Stellen leiten. Besonders muß die Unterkante der Backe recht ausgiebig gekühlt werden. Auch bei der Scheitelfassung wird die Kontaktplatte stark angegriffen und muß öfters erneuert werden. Zweckmäßig trennt man deshalb die Fassung in einen unteren Teil, welcher in der Elektrodenwerkstatt sorgfältig auf den Kohlen befestigt wird und in einen Oberteil, welcher die Anschlüsse für den Strom und das Wasser trägt. Beide Teile können dann rasch und gut am Ofen zusammengeschraubt werden.

Elektrodenbrüche. Unter den ungünstigen Bedingungen der Kriegszeit traten zeitweise viele Elektrodenbrüche auf, davon nicht wenige Kopfbrüche. Dadurch wurde nicht nur der Verbrauch an Elektroden unmäßig erhöht, bis auf 70 und mehr kg je t Karbid, sondern auch der Betrieb arg gestört. Man mußte den Ofen abschalten, das heruntergeplumpste Stück aus dem Herd herausfischen und das ganze Paket erneuern, wenn aus einer seiner Kohlen ein allzu großes Stück herausgebrochen war. Der Verbraucher ist naturgemäß geneigt, zunächst der Elektrodenfabrik die Schuld an den Brüchen und überhaupt an einem zu hohen Elektrodenverbrauch zuzuschieben. Tatsächlich waren diese Beschwerden damals nicht selten berechtigt; es war freilich ihnen nicht leicht abzuhelfen, weil die Rohstoffe mangelhaft waren. Aber auch die beste Elektrode wird sich in einem mangelhaften Ofenbetriebe schlecht halten. Der Karbidofen verbraucht naturgemäß mehr von der teuren Elektrodenkohle, wenn der Koks naß oder der Kalk ungenügend gebrannt ist. Auch wenn der Koks oder der Kalk erhebliche Mengen von Magnesia und Tonerde enthalten, welche eine zähflüssige Schlacke bilden, verbraucht der unruhig arbeitende Ofen mehr Elektrodenkohle. Wenn die Beschickung unrichtig zusammengesetzt ist, so wird ebenfalls der Elektrodenverbrauch größer. Wenn nämlich die Mischung zuviel Kalk enthält, so wird zwar der Abstich dadurch erleichtert, weil das Karbid dünner fließt, und der Ofen geht sehr ruhig; aber die Elektrodenkohle nimmt erheblich an der Karbidbildung teil. Wenn man umgekehrt dafür sorgt, daß um die Elektrode herum die Beschickung einen erheblichen Überschuß von Kohle enthält, so wird zwar der Angriff der Elektrodenkohle durch den Kalk verhindert, aber der Ofen arbeitet unruhig. Wenn nun durch eine selbsttätige Vorrichtung die Stellung der Elektroden geregelt wird, so schadet bei unruhigem Ofengang das

oft[illegible] [illegible]n und Senken der Elektroden, indem es den Abbrand we[illegible] [illegible]fördert.

[illegible] Beurteilung der ganzen Sachlage muß man bedenken, daß [illegible] Ofenelektrode außerordentliche Anforderungen gestellt werden. U[illegible]en im Herde ist sie dem Lichtbogen ausgesetzt, der etwa 3000° heiß ist; ihr Kopf wird durch Wasser gekühlt. Wir haben also hier ein außerordentlich großes Temperaturgefälle, dem die Kohle auch bei plötzlichem Einschalten und Ausschalten widerstehen muß. Außerdem hat der Kopf der Elektrode, solange die Kohle noch ihre volle Länge hat, eine hohe Last zu tragen; die Kohle muß also große Zugfestigkeit

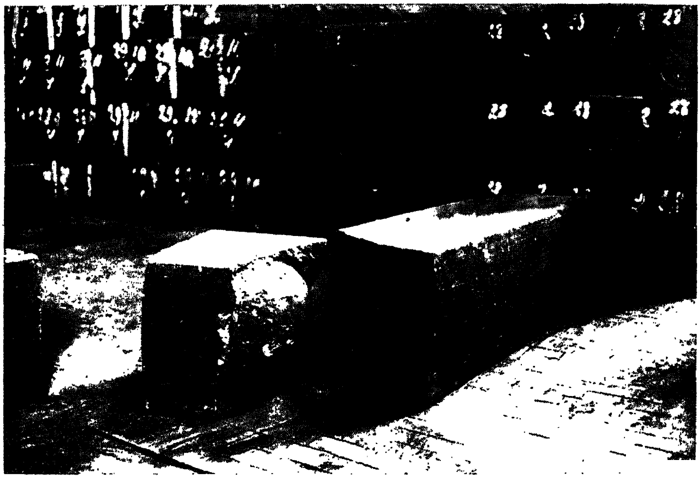


Abb. 199. Gebrochene Elektrode.

besitzen. Auch Stößen muß sie nach Möglichkeit widerstehen, damit sie beim Transport nicht Schaden nimmt. Selbstverständlich muß man stets darauf Rücksicht nehmen, daß auch die beste Kohle immerhin ein Stoff ist, dem man nicht so viel Festigkeit wie etwa Eisen zumuten darf. Etwaige Beschwerden lassen sich bei guter Fühlung zwischen Erzeuger und Verbraucher zumeist bald beseitigen.

In seltenen Fällen trägt ein Fehler bei der Herstellung der Elektrode die Schuld daran, daß sie bricht. Ein bemerkenswerter Fall ist mir während der Kriegszeit begegnet und ich habe ihn gleich durch photographische Aufnahme (Abb. 199) festlegen lassen. Die Bruchfläche dieser beim Transport gebrochenen großen Ofenelektrode hat die Form einer Kugelkappe. Ich habe daraus geschlossen, daß ein Fehler beim Pressen begangen wurde, indem nachgegebene Masse sich mit der schon in der Presse befindlichen nicht genügend verband. Die ursprünglich

ebene Trennungsfläche wölbte sich beim Austritt aus der Strangpresse, weil die Mitte rascher vorrückte als die durch die Reibung an der Wand gehemmten Teile.

Gefüge der Karbidelektrode. Die heutigen großen Ofenelektroden sehen äußerlich nicht schön glatt aus, sondern sind sehr rauh (was die Schutzpaste gut haften macht) und besitzen *ein grobes Gefüge*. In die Grundmasse sind Anthrazitkörner eingelagert, wie der Schliff (Abb. 200) bei 7facher Vergrößerung zeigt. In einer Lieferung der Kriegszeit, welche wegen der vielen Brüche im Karbidofen beanstandet wurde, waren

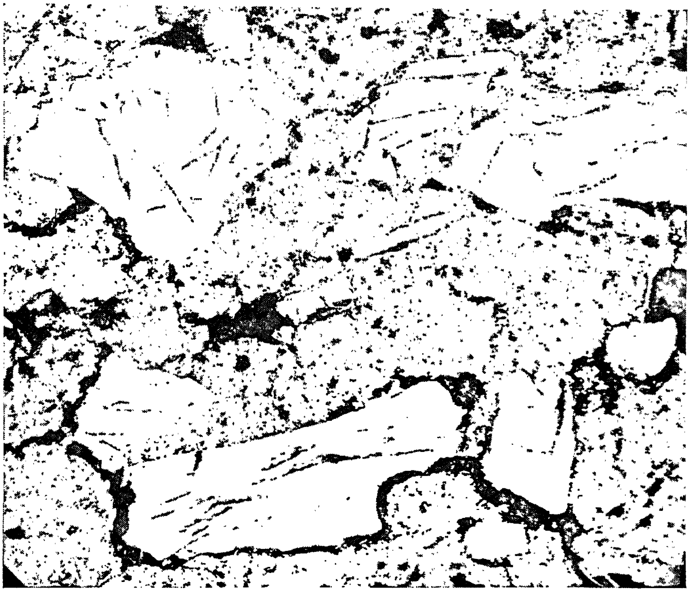


Abb. 200. Gefüge einer Karbidelektrode. V = 7.

größere und kleinere Anthrazitkörner im Gefüge zu ungleich verteilt (Abb. 201), was die Festigkeit verminderte. Ich stelle mir das Gefüge der großen Ofenelektrode als eine Art Feldstein-Mauerwerk vor, bei welchem die das feste Gerippe darstellenden Steine gut zusammengebaut sein müssen, damit sie mit dem sie verbindenden Mörtel ein sehr festes Gemäuer ergeben. Der recht nützliche Zusatz von Retortenkohle läßt sich mikrophotographisch im Schliff nachweisen (Abb. 202); das eigenartige Gefüge dieses Bestandteiles (vgl. Abb. 35—38, S. 41) ist hier unverkennbar durch zwei Brocken vertreten: der schwammige Brocken links ist vermutlich Koks.

Miguet-Ofen. Abb. 203 zeigt einen neueren eigenartigen Einphasenofen von Miguet, welcher eine gewaltige hohle Rundelektrode von großem

Durchmesser besitzt; sie ist ebenso wie die Auskleidung des Herdes aus einzelnen Formstücken zusammengesetzt (Abb. 204). Dieser Elektrode

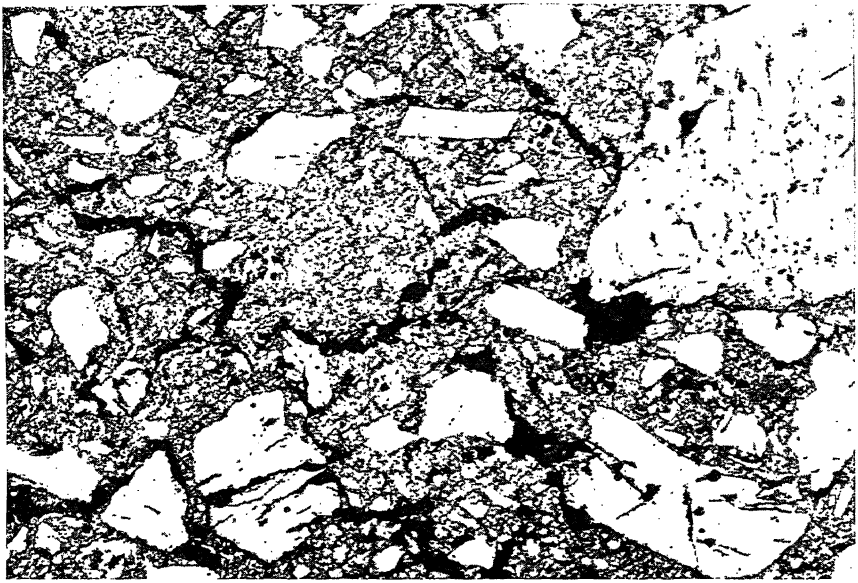


Abb. 201. Gefüge einer Karbidelektrode. V = 7.

und der Herdauskleidung wird der Strom so geschickt zugeleitet, daß der Leistungsfaktor außerordentlich hoch (0,95) ist[1]. Der Miguet-Ofen bietet gleichzeitig das Beispiel eines gedeckten Ofens, dem die Beschickung selbsttätig zugeführt wird. Die etwa 2 m dicke Elektrode wird mit 100000 bis 150000 A belastet, und zwar drängt sich wegen der Eigenart des Wech-

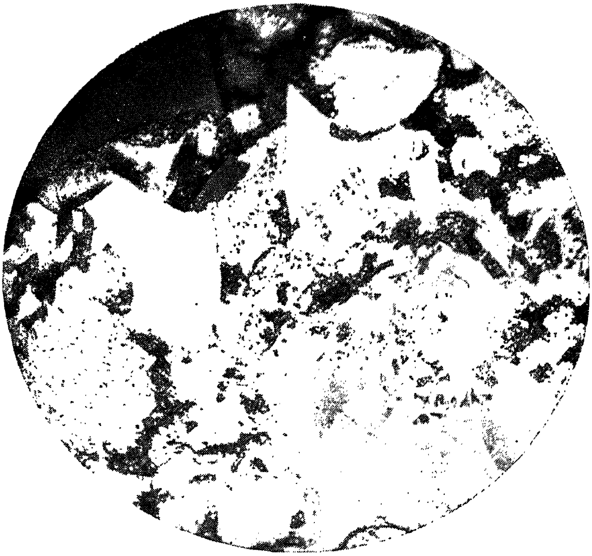


Abb. 202. Retortengraphit im Gefüge einer Karbidelektrode. V = 500.

[1] Trans. Amer. electrochem. Soc. Bd. 52 (1927) S. 335.

selstromes („Hauteffekt") die Belastung nach der Oberfläche zusammen. Später wurde diese Elektrode als Dauerelektrode umgebildet.

Abstichelektroden. Ganz besonders hoch beansprucht werden die Abstichelektroden (Aufbrennelektroden), lange Kohlestangen von 10 × 10 cm Querschnitt, mit deren Hilfe bei den Riesenöfen in die dicke Karbidkruste durch den Lichtbogen ein Loch gebrannt wird, um den Abstich zu ermöglichen. Die Abstichelektroden werden bis zu 20 A/cm² belastet, was auch für diesen kleinen Querschnitt sehr viel bedeutet. Sie müssen deshalb aus besten Rohstoffen gefertigt werden und besonders fest sein.

Leitfähigkeit. Neben der Widerstandsfähigkeit gegen schroffe Tem-



Abb. 203. Miguet-Ofen.

peraturänderungen, der mechanischen Festigkeit und der Beständigkeit gegen den Luftsauerstoff kommt es natürlich bei den Ofenelektroden auch auf gute Leitfähigkeit an. Der spezifische Widerstand beträgt etwa 60—70 Ohm; aber auch ein höherer elektrischer Widerstand darf, zumal bei billigem Strom, gern in Kauf genommen werden, wenn die übrigen Eigenschaften der Kohle diesen Nachteil überwiegen.

Ferrosilizium. Für die Herstellung von Ferrosilizium sind die Öfen ebenso wie für Karbid gebaut, aber mit saurem Futter ausgekleidet. Das Ferrosilizium (gemeinhin kurz Fesi genannt) wird hergestellt, indem man Quarz mit Kohle und Eisenspänen zusammenschmilzt; dann wird der Quarz (Kieselsäure SiO_2) durch die Kohle reduziert und das Silizium bildet mit dem Eisen Ferrosilizium, das je nach den Mischungsverhältnissen mehr oder minder reich an Silizium ist. Das Haupterzeugnis

ist etwa 50% iges Ferrosilizium, in kleineren Mengen wird 75% iges und für besondere Zwecke etwa 97% iges, also fast reines Silizium hergestellt[1].

Was die zu verwendende Kohle anlangt, so ist die sehr reine und sich rasch umsetzende Holzkohle leider teuer. Auch der Petrolkoks ist nicht

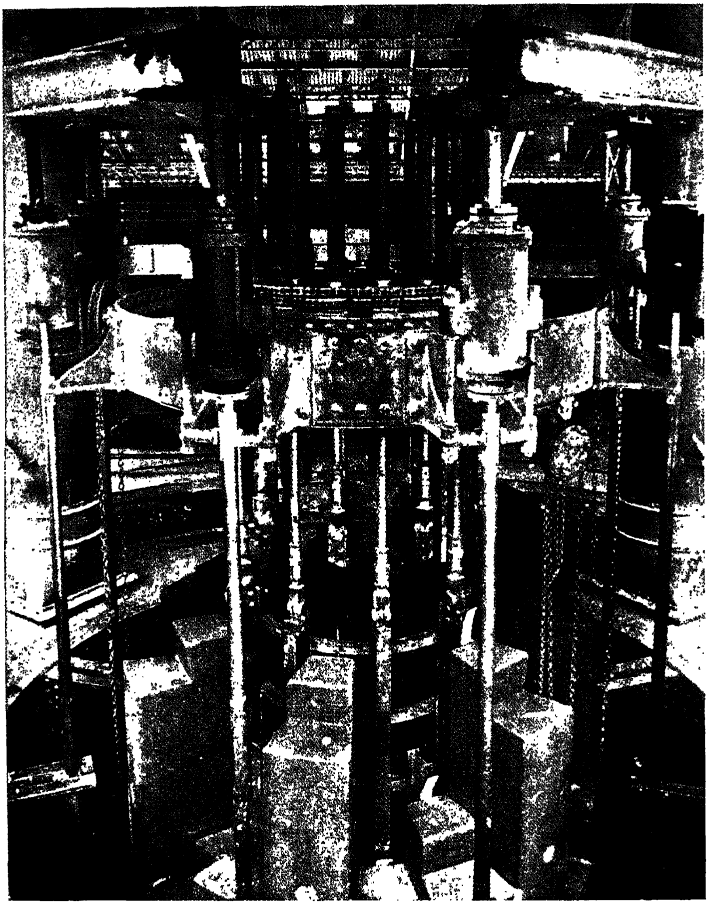


Abb. 204. Elektrode des Miguet-Ofens.

billig genug; er wird übrigens vom Ofen schwerer verdaut. Vorwiegend verwendet man möglichst guten Zechen- oder Gaskoks und Anthrazit. Für die Gewinnung von höchsthaltigem Silizium muß jedoch eine möglichst aschenarme Kohle verwendet werden. Auch der Quarz soll

[1] Ferrosilizium, dessen Gehalt zwischen 30 und 65% liegt, zerfällt häufig zu einem sandigen Pulver, oft erst nach Monaten. Die Ursache dieses merkwürdigen Zerfalles ist noch unbekannt.

möglichst rein sein. Als Eisen darf Gußeisen nicht verwendet werden, weil es zuviel Phosphor enthält, welcher in das Ferrosilizium übergeht und nachher Vergiftungen und Explosionen verursachen kann; man verwendet gern Drehspäne und Stanzabfälle. Das Entweichen des bei der Umsetzung entstehenden Kohlenoxydes wird erleichtert, wenn man lockere Eisendrehspäne verwendet und etwas Holzkohle zusetzt.

Das Ferrosilizium dient zum Desoxydieren des geschmolzenen Eisens. Das ungereinigte Eisen enthält nämlich Eisenoxyd und andere Schlackenbestandteile eingeschlossen, welche nach der Verarbeitung des Eisens zu gefährlichen Brüchen Anlaß geben können. Wenn man Ferrosilizium in die Schmelze einträgt, so reißt das Silizium den Sauerstoff an sich. Durch die bei dieser Umsetzung entwickelte Wärme wird das Eisen dünnflüssig, was das Emporsteigen des entstandenen Siliziumdioxyds und die Läuterung des Metalls begünstigt. Das 75%ige Ferrosilizium dient besonders dazu, den Gehalt des Gußeisens an gebundenem Kohlenstoff zu regeln. Das Silizium drückt nämlich die Sättigungsgrenze des Eisens für Kohlenstoff herab, scheidet den überschüssigen Kohlenstoff als Graphit aus, vermindert dadurch die Härte des Gußeisens, macht es weicher und leichter zu bearbeiten, und erhöht zugleich seine Festigkeit. 75—90%iges Ferrosilizium wird zur Herstellung von siliziertem Eisen für Transformatorbleche verwendet. Eine weitere wichtige Verwendung ist die Herstellung von siliziumreichem Guß, welcher Säuren gut widersteht.

Die Eigenart des Ferrosiliziumbetriebes liegt besonders darin, daß im Gegensatz zum Karbidbetrieb, wo der Kalk im Lichtbogen dünnflüssig wird, hier der Quarz zu einer glasigen Masse erweicht, welche ebenso wie der feste Quarz den elektrischen Strom nicht leitet. Schlackenbildende Rohstoffe sind noch viel sorgfältiger als beim Karbidbetrieb zu vermeiden, besonders wenn man hochhaltiges Ferrosilizium machen will.

Es wird empfohlen, die Elektrode etwa 30 cm tief in die Beschickung eintauchen zu lassen; der Lichtbogen soll in einem Abstande von 1—2 cm zur Beschickung frei brennen. Indem man zwischen die Elektrode und die Beschickung eine Gasschicht einschaltet, engt man die zugeführte Energie auf einen kleinen Raum ein und braucht weniger Kilowattstunden als bei der Widerstandserhitzung. Ebenso wie beim Karbidbetrieb soll der Herd stets mit ungeschmolzener Beschickung gut gedeckt sein. Noch sorgfältiger als beim Karbidofen müssen die Ofenarbeiter decken und stochern, damit nicht zuviel Silizium durch Verdampfen verloren geht und nicht zuviel Elektrodenkohle verbraucht wird. Die sengende Glut, welche dem Ofen entströmt, besonders wenn man auf hohen Siliziumgehalt arbeitet, erschwert die Ofenarbeit wesentlich. Ganz besonders schwer arbeitet es sich, wenn die Rohstoffe zuviel an schlackenbildenden Bestandteilen enthalten.

Durch Beobachten der Meßinstrumente kann der Gang des Ferrosiliziumofens gut überwacht werden. Wenn man durch Verstellen der Elektroden von Hand die Ofenspannung konstant hält und dabei die Elektrode die Neigung zeigt zu steigen, dann muß man Quarz um die Elektrode häufen und dadurch den Widerstand der Beschickung erhöhen; nun kann man die Elektroden senken, um wieder auf die nötige Stromstärke zu kommen. Umgekehrt soll man, wenn die Elektrode zu tief steht, Kohle eingeben. Arbeitet man mit einem Überschuß von Kohle, so bilden sich zwar weniger Schlacken, aber der Ofen dampft stärker, und die Kohle reduziert auch einen guten Teil der Verunreinigungen, die zum Teil ins Ferrosilizium übergehen und zum Teil wieder weg-

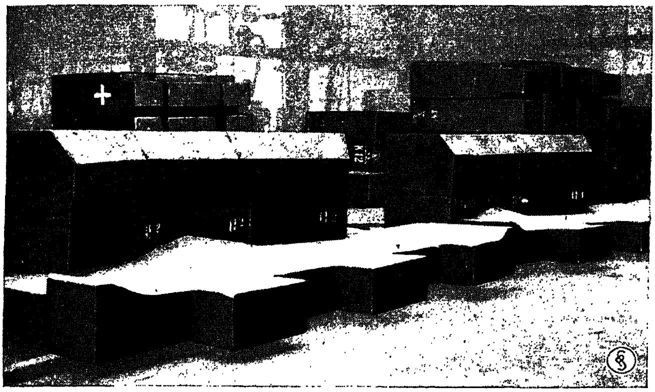


Abb. 205. Formkohlen zum Ofenfutter.

dampfen. Bei allzu starker Überkohlung bilden sich Krusten um die Elektroden, und das Dampfen wird schlimmer; schließlich entsteht steinhartes Siliziumkarbid, welches man durch Zugabe von Quarz wieder auflösen oder abräumen muß.

Ein gutgehender Ofen enthält eine weiche Masse und darunter das dünnflüssige schwere Ferrosilizium, das man etwa zweistündlich absticht. Man muß abstechen, wenn der Strom unruhig wird und das Gas unregelmäßig aus dem Ofen bläst. Man kann übrigens auch schon an einem eigentümlichen stoßenden Ton hören, daß das Metall zu nah an der Elektrode steht.

75% iges Ferrosilizium und gar Silizium mit 90% und mehr Si scheidet sich wegen seines viel niedrigeren Gewichtes nicht so bequem wie das 50% ige Ferrosilizium am Boden des Herdes ab. Gerade deshalb stört hier das Auftreten von Schlacken ungemein. Bei zu unreinen Rohstoffen treten zähe Schlacken als dunkelgrüne oder schwarze Glasflüsse auf, die hauptsächlich aus sehr kieselsäurereichen Ton- und Kalk-

silikaten, gemischt mit Quarz und Silizium, bestehen. Sobald sich zuviel Schlacke angesammelt hat, geht der Ofen sehr unruhig und Nachgeben von Quarz oder Kohle hilft dann nicht mehr. Man muß in solchem Falle

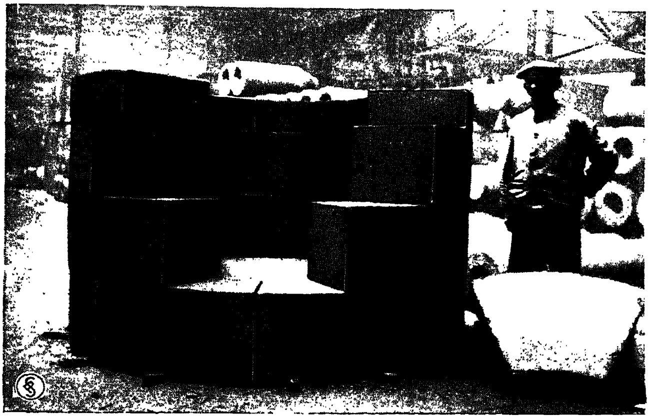


Abb. 206. Kleines Ofenfutter aus Formkohlen.

die Abstichöffnung erweitern und mit langen Haken die zähe Schlacke herausholen. Je kleiner der Ofen ist, um so mehr stören Schlacken und um so schwieriger sind sie zu entfernen.

Durch diese Schwierigkeiten des Betriebes ist der im Vergleich zum Karbid höhere Verbrauch an Elektrodenkohle für Ferrosilizium gerechtfertigt. Auf 1 t 50% iges FeSi werden mindestens 38 kg, öfter bis 50 kg, gelegentlich bis 60 kg Elektroden gebraucht. Für 75% iges und 90% iges ist der Verbrauch an Elektroden und auch an Strom weit höher; es werden bis 90 kg und mehr Elektrodenkohle benötigt.

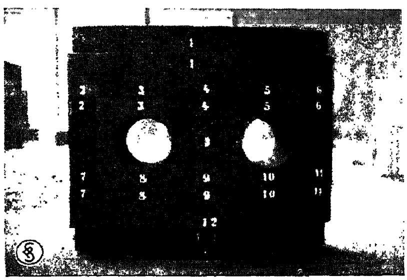


Abb. 207. Ofendeckel mit Öffnungen für die Elektroden.

Weil das geschmolzene Ferrosilizium dünnflüssig ist, muß der Herd sehr sorgfältig ausgekleidet sein, um Durchbrüche zu verhindern. Abb. 205 zeigt Formkohlen mit Abstichöffnungen für einen Ferrosiliziumofen. Bei dieser Gelegenheit bringe ich gleich das Bild eines kleineren, aus Formkohlen zusammengestellten Futters (Abb. 206) und das eines Ofendeckels mit Durchlaßöffnungen für die Elektroden (Abb. 207).

Andere Ferrolegierungen. Zur Herstellung von Edelstählen, welche den höchsten Anforderungen genügen, werden eine Reihe anderer Ferro-

legierungen im elektrischen Lichtbogenofen gewonnen, Ferrochrom, Ferromangan, Ferrowolfram[1], Ferrovanadium usw. Die wichtigste dieser Ferrolegierungen ist das Ferrochrom, welches unter anderem zur Herstellung von nicht rostendem Stahl dient. Zur Gewinnung von Ferrochrom wird Chromeisenstein gemahlen, mit Kohle brikettiert und

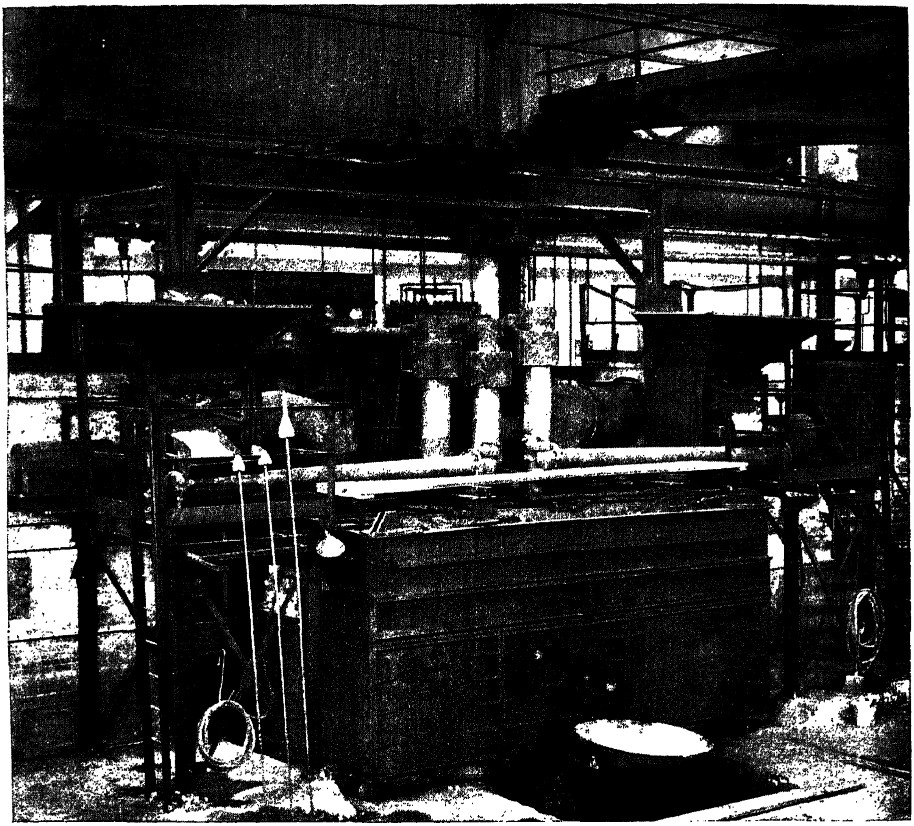


Abb. 208. Ofen für Ferrovanadium.

in einem elektrischen Ofen, dessen Herd mit Magnesiasteinen ausgekleidet ist, geschmolzen. Das gewonnene stark kohlenstoffhaltige Ferrochrom muß, um seinen Kohlenstoffgehalt auf ein Mindestmaß

[1] Wolframstahl dient besonders zur Herstellung von Schnelldrehstahl. Wolfram verschiebt nämlich die Temperatur, bei welcher gehärteter Stahl sich enthärtet, bis oberhalb 500°, so daß man z. B. mit Böhlerstahl, der 18% Wolfram enthält, viel rascher drehen und hobeln kann als mit gewöhnlichem Stahl, der schon bei 150° nicht mehr genügend schneidet.

herabzusetzen, noch einmal mit einem Überschuß von Chromeisenstein geschmolzen werden. Ähnlich wird Ferromolybdän, Ferrowolfram und Ferromangan hergestellt. Der Elektrodenverbrauch beträgt je Tonne bei Ferrochrom etwa 180 kg, bei dem sehr schwer schmelzenden Ferrowolfram etwa 140 kg und bei Ferromangan etwa 80 kg.

In Amerika wird die Herstellung von *Ferrovanadium*, dessen Zusatz den Widerstand des Stahls gegen Erschütterungen erhöht, von der Vanadium Company of America in Öfen durchgeführt, welche von ihrem Betriebsleiter B. D. Saklatwalla ausgezeichnet durchgebildet sind. Der 4000-kW-Ofen (Abb. 208) ist aus einer 10 cm dicken Lage von Ziegeln aufgebaut und ausgekleidet mit Kohlenblöcken und einer Stampfmasse, die aus Koks, Teer und Pech gemischt ist. Die ganze Auskleidung ist etwa 120 cm dick. Ein Eisenpanzer aus Gußeisensegmenten, welche durch Bolzen zusammengehalten werden, umgibt den Ofen. Durch die Decke ragen die drei Elektroden aus graphitierter Kohle von 32 cm Durchmesser hinein. Der Ofen besitzt getrennte Abstichlöcher für Metall und für Schlacke. Die Decke ist mit Wasser gekühlt. Durch eine sinnreiche Vorrichtung, welche selbsttätig die Elektroden verstellt, wird die Wattzufuhr zum Ofen konstant gehalten. Die runden Elektroden sind von einer Ringfassung umgeben, welche ein rasches Auswechseln gestattet. Diese Fassung (Abb. 209) enthält keine Schrauben und besteht aus drei Teilen, nämlich aus einem hohlen wassergekühlten Kupferring, der innen schwach konisch ist, einem darein passenden Kupferringe und drittens Bronzekeilen, welche zwischen diesen Ring und die Elektrode passen. Die Elektrode wird zunächst in den inneren Ring eingekeilt und dann mit diesem in den äußeren Ring eingesetzt. Wenn die Fassung warm wird, so dehnt sich der innere Ring und verbessert den Kontakt mit dem äußeren Ring, welcher den Strom zuführt.

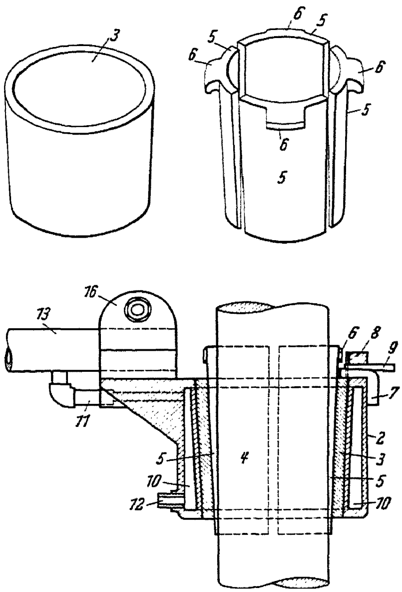


Abb. 209. Elektrodenfassung der Vanadium Co.

Öfen für Elektrokorund. Abb. 210 zeigt eine Reihe von Öfen der Elektroschmelze G. m. b. H. in Zschornewitz zur Herstellung von künstlichem *Korund*, welcher als Schleifmittel verwendet wird. Der Rohstoff Bauxit, ein Verwitterungsprodukt des Feldspates, welches ein durch

Kieselsäure und Eisenoxyd verunreinigtes Tonerdehydrat darstellt, wird zunächst entwässert und dann in einem Lichtbogenofen geschmolzen, dessen Mantel einfach aus Eisenblech in Gestalt eines sich nach oben etwas verjüngenden Kegelstumpfes besteht; von oben her ragen in ihn drei dicke Kohlenelektroden hinein. Der Mantel wird zur Kühlung dauernd mit Wasser berieselt. Ebenso wie beim alten Blockbetrieb des Karbidofens schmilzt man zunächst eine kleinere Menge der Beschickung, hebt dann die Elektroden, gibt neue Beschickung nach und fährt so fort, bis sich der Ofen mit einem etwa 2—3 t schweren Block von er-

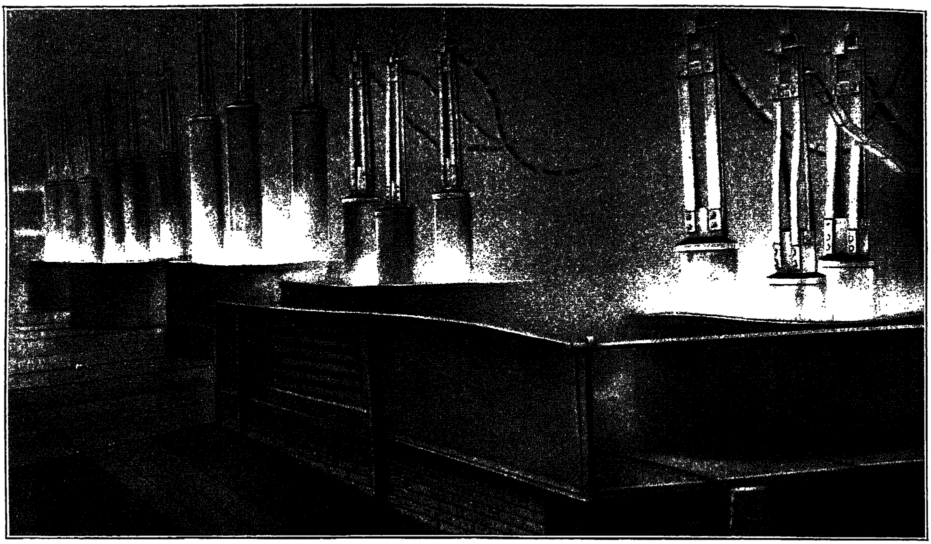


Abb. 210. Karborundumöfen in Zschornewitz.

starrter Schmelze gefüllt hat. Man darf den Ofen nicht übermäßig mit Strom belasten, damit nicht die Hitze zu groß wird und viel Tonerde wegdampft; auf je reinerem Elektrokorund man arbeitet, um so größer ist diese Gefahr. Andererseits muß die Belastung mit Strom so groß sein, daß die Beschickung gut durchschmilzt. Auf 1 t gewonnenen Elektrokorund werden etwa 35 kg Elektrodenkohle gebraucht. Das gewonnene gut durchgeschmolzene mehr oder minder kristallinische Aluminiumoxyd wird gebrochen, gemahlen, gesiebt und nach Mengen mit einem Bindemittel, z. B. Feldspat und Kaolin, zu Schleifscheiben usw. verarbeitet[1]. Abb. 211 zeigt an einer Bruchfläche das Gefüge einer Elektrode zum Schmelzen von Bauxit ($V = 2$).

Das andere künstliche Schleifmittel, Siliziumkarbid SiC, von Acheson

Elektrostahlöfen. In den heutigen Stahlwerken spielen die Elektrostahlöfen eine hervorragende Rolle; unter seinen verschiedenen Formen ist der Ofen von Héroult besonders verbreitet. Bei dem Héroult-Ofen (Abb. 212) sind die drei Rundelektroden durch das Gewölbe senkrecht eingeführt; der Lichtbogen geht von ihnen zu der Schlacke, welche das



Abb. 211. Oberfläche einer Ofenelektrode zum Korundschmelzen. V = 2.

flüssige Eisen bedeckt und verhütet, daß Kohlenstoff aus den Elektroden das Eisen in unerwünschtem Grade aufkohlt. Weil die Hitze des Lichtbogens unmittelbar auf die Schlacke übergeht und die Elektrodenenden der Glut nach unten strahlen, empfängt die Schlacke die höchste Hitze, während die aus Silikasteinen gebildete Decke verhältnismäßig geschont wird. Die dünnflüssige Schlacke setzt sich gut mit dem Metall um.

„Karborundum" genannt, wird in Widerstandsöfen hergestellt, die dem Ofen für Elektrographit (siehe S. 138) ähneln, aber kürzer sind.

Die runde Ofenwanne aus Siemens-Martinstahl ist mit feuerfesten Steinen ausgekleidet, und zwar je nach der Arbeitsweise basisch mit Magnesia oder Kalk oder sauer mit Quarz. Seitliche Türen gestatten

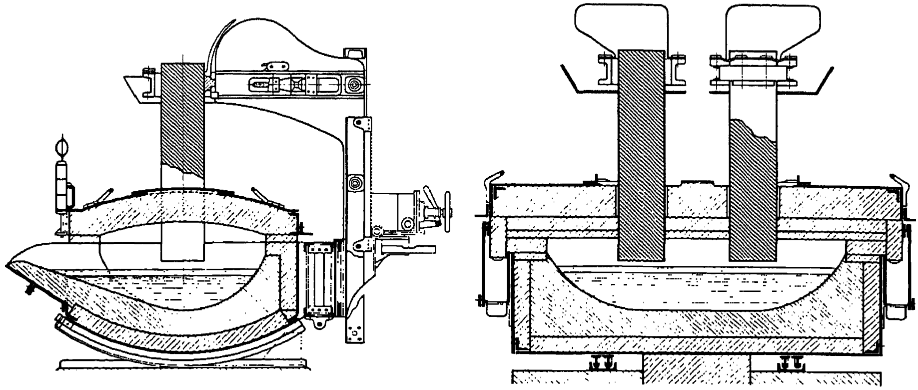


Abb. 212. Héroult-Ofen.

das Beschicken, Entschlacken und Entleeren. Die Elektroden sind dort, wo sie durch die Ofendecke treten, durch ringförmige Fassungen, welche

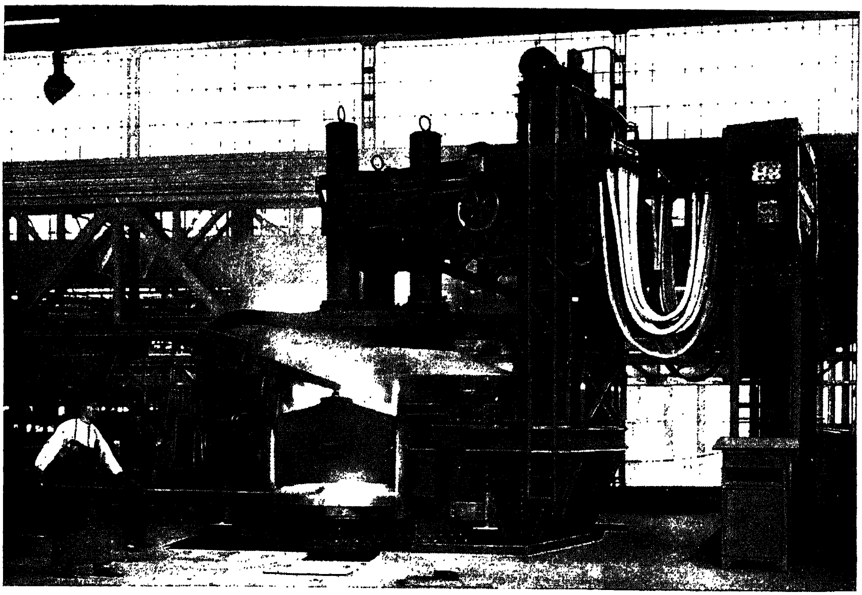


Abb. 213. 15 t-Stahl-Ofen im Betriebe.

vom Wasser durchflossen werden, abgedichtet und gekühlt. Die Elektroden können rasch ausgewechselt werden; die Ringfassung gestattet, auf den Stumpf mittels Nippel die neue Elektrode zu setzen.

Abb. 213 zeigt einen 15-t-Ofen von Siemens im Betriebe. Die Ofenwanne ist kippbar auf Rollenbahnen gelagert; der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, welcher durch eine Steuerwalze betätigt wird. Beschickt wird der Ofen durch eine breite Arbeitstür; von hier aus wird er auch entschlackt. Eine zweite Tür mit Ausgußschnauze dient zum Entleeren des Ofens. Der Strom wird durch die drei senkrecht in den

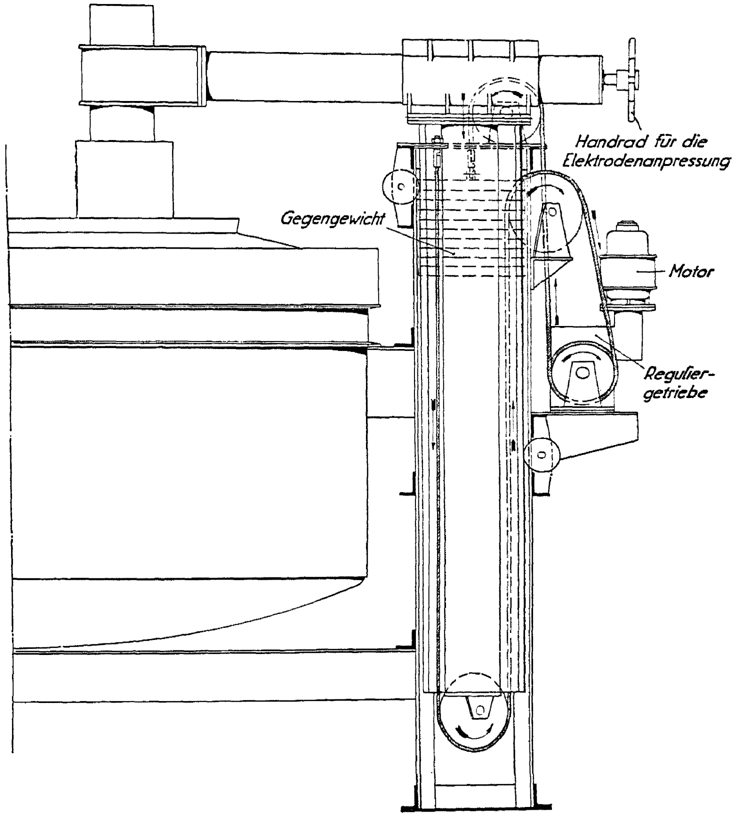


Abb. 214. Seilzug für die Elektrodenbewegung.

Ofen hineinragenden Elektroden zugeführt. Die drei Elektrodenständer sind nebeneinander an einer Seite der Wanne angeordnet. Die Elektrodenarme mit den Elektroden werden in den Ständern geführt und durch einen Seilzug elektromotorisch gehoben und gesenkt. Der Vorzug dieses Seilantriebes beruht darauf, daß er eine elastische Kupplung darstellt, welche verhütet, daß die Elektroden beim Senken zu hart auf das Schmelzgut aufsetzen und brechen. Die Seilkupplung (Abb. 214) ist so ausgeführt, daß ein Ende des Seiles mit den Elektrodenarmen und

das am anderen Ende mit einem Gegengewicht unter Zwischenschaltung der Windentrommel und gegebenenfalls von Leitrollen verbunden ist. Die Elektrodenarme sind durch Gegengewichte so ausgeglichen, daß für ihre Bewegung wenig Kraft nötig ist, infolgedessen die selbsttätige Elektrodenregelung recht empfindlich ist und die Elektroden gleichmäßig hebt oder senkt.

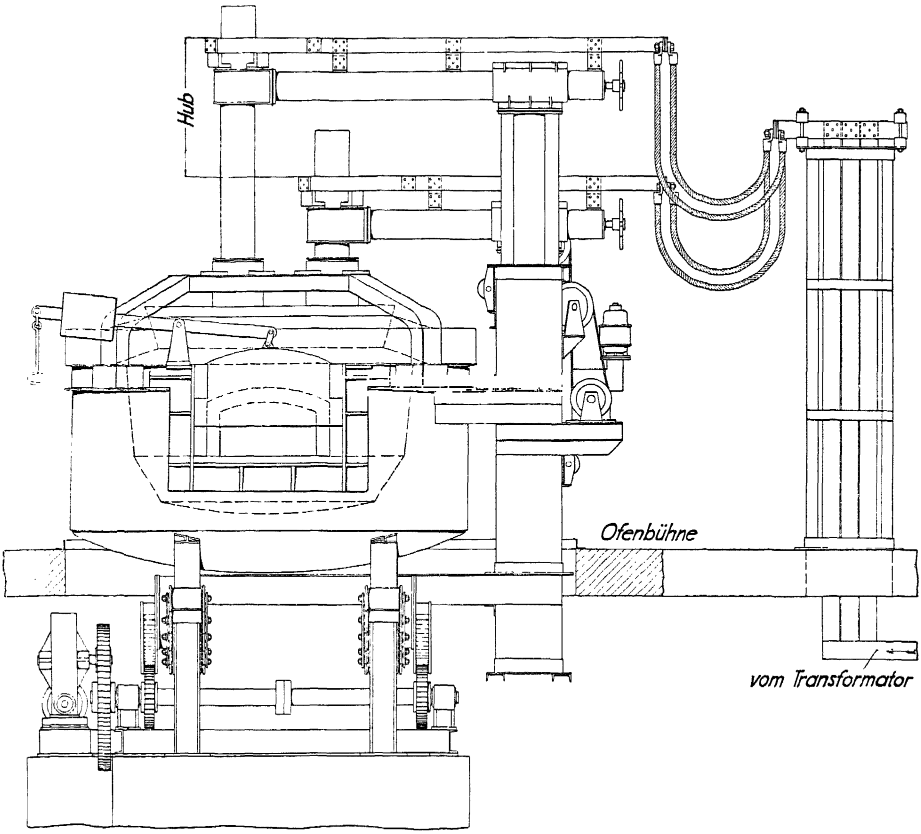


Abb. 215. Schnittzeichnung des Stahlofens.

Die Abdichtung der Elektroden an der Stelle, wo sie aus dem Gewölbe heraustreten, ist aus der Schnittzeichnung (Abb. 215) zu ersehen. Sie besteht aus einem die Elektrode dicht umschließenden Abdichtungszylinder und dem Kühlring. Der Kühlring liegt auf dem Gewölbe auf, während der Zylinder durch ein kleines über der Wanne aufgebautes Gestell gehalten wird. Damit bei einer Formänderung des Gewölbes die Elektrode nicht etwa abbricht, ist der Zylinder mit dem Kühlring nicht starr, sondern durch eine Sanddichtung verbunden. Auch der

Zylinder wird durch Wasser gekühlt; er verhindert, daß durch die Gewölbeöffnungen Gas aus dem Ofen strömt, Wärme vergeudet wird und Kohlenteilchen von den Elektroden fortgerissen werden. Der Elektrodenverbrauch hängt, abgesehen vom Arbeitsverfahren, von der Betriebsdauer und dem Zustand des Ofens ab; bei der Herstellung von Stahlguß aus kaltem Einsatz beträgt er etwa 4—6 kg/t. Bei der Herstellung von Edelstählen kann je nach dem Arbeitsverfahren und der Ofengröße in 24 Stunden 4—7mal beschickt werden.

Gefüge der Elektrode für Stahlöfen. Wegen der hohen Beanspruchung im Ofen gibt man der Stahlelektrode einen möglichst großen Gehalt an

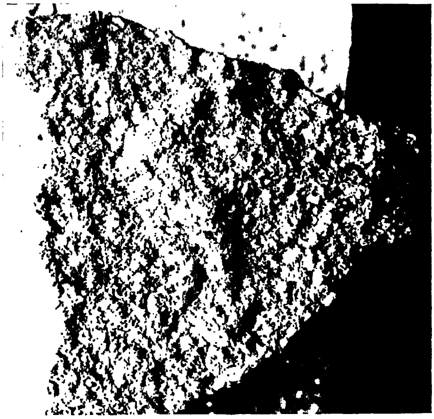


Abb. 216.
Bruchfläche einer Stahl-Elektrode. V = 1,5.

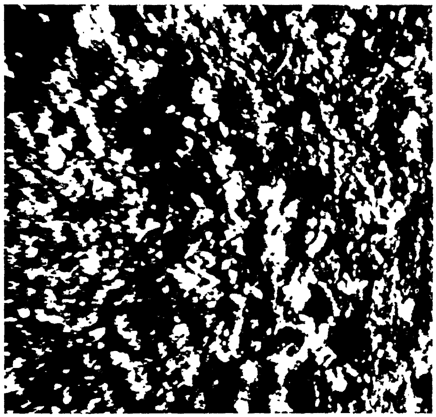


Abb. 217.
Bruchfläche einer Stahl-Elektrode. V = 10.

Retortenkohle. Abb. 216 zeigt die Bruchfläche eines abgeschlagenen Brockens in $1^1/_2$facher natürlicher Größe (mit Objektiv von kurzer Brennweite Altin aufgenommen), Abb. 217 einen Teil der Oberfläche bei 10facher Vergrößerung. Nachdem diese Fläche mit einem feinkörnigen Karborundumstein von Hand leidlich ebengeschliffen war, wurde das Gefüge deutlicher, vorausgesetzt daß man die Fläche bei der geeigneten schrägen Beleuchtung ansah; indem ich die Fläche etwas neigte, konnte ich diesen Anblick auch durch das Lichtbild festhalten (Abb. 218) und ihn durch Vergrößerung auf etwa das 5fache noch verstärken (Abb. 219).

Graphitierte Elektroden. Im Elektrostahlofen werden vielfach graphitierte Elektroden verwendet. Sie sind zwar etwa 5mal teurer als nichtgraphitierte, im gewöhnlichen Elektrodenofen gebrannte Kohlen, bieten aber mannigfache Vorteile[1]. Wegen ihrer viel besseren Leit-

[1] Andere Verbraucher sind bei den gewöhnlichen Elektroden geblieben, und auch die Söderbergelektrode hat sich im Stahlofen bewährt.

fähigkeit braucht ihr Durchmesser nur etwa halb so groß zu sein, und ihr Gewicht ist entsprechend geringer. Eine Kohlenelektrode von 400 mm Durchmesser wiegt etwa 280 kg, eine Graphitelektrode für die gleiche Belastung hat nur 250 mm Durchmesser und wiegt 110 kg. Wegen des geringeren Gewichtes läßt sich die Graphitelektrode einfacher und leichter handhaben. Wegen der Weichheit des Elektrographits läßt sich die graphitierte Elektrode ohne Schwierigkeit genau abdrehen. Die glatte Oberfläche vermindert den Übergangswiderstand zur Fassung. Wegen des geringeren Durchmessers sind die Durchführungsöffnungen für die Elektroden in der Decke des Ofens kleiner, was die Abdichtung erleichtert.



Abb. 218.
Bruchfläche einer Stahlelektrode, geschliffen.

Anschneiden von Gewinde. Das Anschneiden von Gewinde macht bei den graphitierten Kohlen ebenfalls wenig Mühe. Abb. 220 zeigt, wie auf der Drehbank an eine große Rundelektrode ein kegelförmiges Schraubengewinde angeschnitten wird, Abb. 221, wie in die Höhlung des Kopfes das Gewinde eingeschnitten wird. Häufig verbindet man aber die anzustückende mit der alten Elektrode durch einen besonderen Nippel, der mit seinem unteren Teil in diese, mit seinem oberen Teil in jene Elektrode eingeschraubt wird. Man verbindet also entweder mittels zylindrischen Gewindes und losen Nippels oder aber mittels eines fest an der Elektrode angedrehten konischen Gewindezapfens einerseits und entsprechendem Gewindeloch andererseits. Abb. 222—224 geben die Normen für diese beiden Arten von Gewinden. Bei großen Rundelektroden von etwa 400 mm oder mehr Durchmesser verdient die konische



Abb. 219. Stahlelektrode, Schliff. V =

Verbindung unbedingt den Vorzug vor der zylindrischen Nippelung, weil bei jener das Anstücken weit einfacher ist und rascher geht. Ferner ist der Übergangswiderstand bei der Verbindung durch koni-

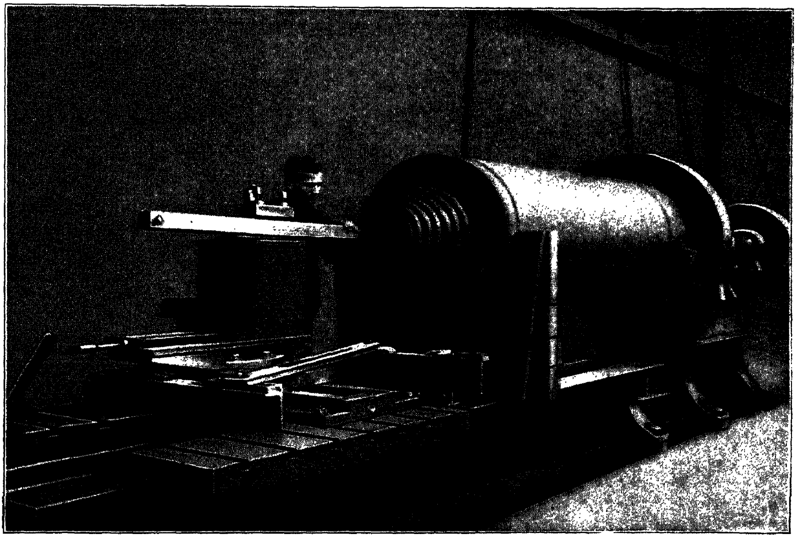


Abb. 220. Anschneiden eines konischen Gewindes.

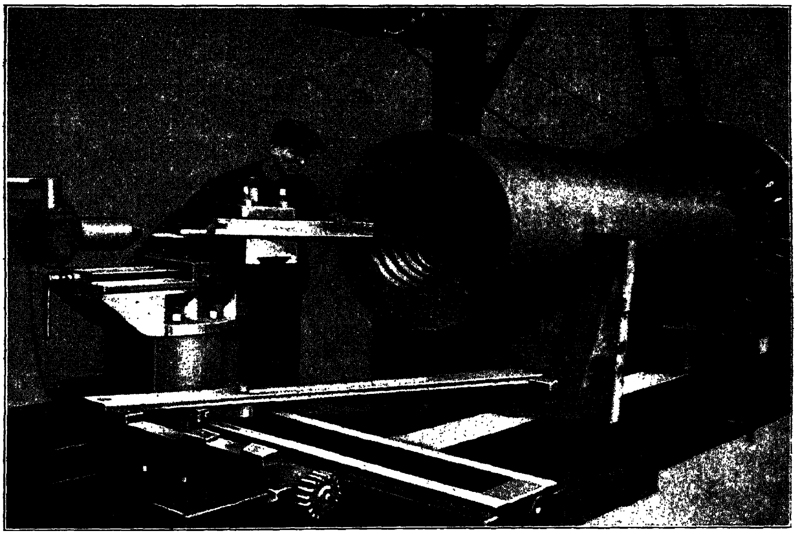
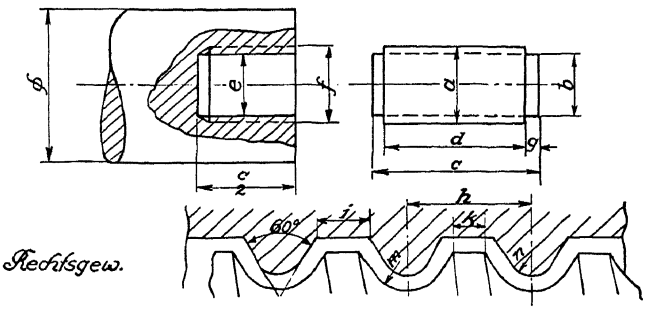


Abb. 221. Einschneiden eines Gewindes.

sches Gewinde geringer. In beiden Fällen muß, um den Übergangswiderstand möglichst klein zu halten, das Anstücken sehr

Norm | Cyl. Gew. für Elektroden. von 200–900 m/m ⌀ u. 180–750 m/m ⌀ — Siemens-Planiawerke



⌀	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	m	n
200-225	115	95	270	240	99	119	25	30	11	7,4	1,5	5,5
250	140	120	370	260	124	144	〃	〃	〃	〃	〃	〃
285	150	130	〃	〃	134	154	〃	〃	〃	〃	〃	〃
300	160	140	〃	〃	144	164	〃	〃	〃	〃	〃	〃
325	170	150	〃	〃	154	174	〃	〃	〃	〃	〃	〃
350	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
360	190	160	370	320	165	195	〃	40	13	9,5	11,5	7,5
400	210	180	〃	〃	185	215	〃	〃	〃	〃	〃	〃
450	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
485-500	240	210	410	360	215	245	〃	〃	〃	〃	〃	〃
550-600	297	257	570	520	263	303	〃	55	18	15	14,5	11,5
650	350	310	670	620	316	356	〃	〃	〃	〃	〃	〃
700	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
800	450	410	760	700	416	456	30	55	18	15	14,5	11,5
900	500	450	800	740	466	506	〃	〃	〃	〃	〃	〃

⌀	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	m	n
180-200	115	95	290	240	99	119	25	30	11	7,4	9,5	5,5
250	150	130	310	260	134	154	〃	〃	〃	〃	〃	〃
270-280	160	140	〃	〃	144	164	〃	〃	〃	〃	〃	〃
300	170	150	〃	〃	154	174	〃	〃	〃	〃	〃	〃
350	210	180	370	320	185	215	〃	40	13	9,5	11,5	7,5
400	240	210	410	360	215	245	〃	〃	〃	〃	〃	〃
450	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
500	297	257	570	520	263	303	〃	55	18	15	14,5	11,5
600	350	310	670	620	316	356	〃	〃	〃	〃	〃	〃
650	400	360	760	700	366	406	30	〃	〃	〃	〃	〃
700	450	410	〃	〃	416	456	〃	〃	〃	〃	〃	〃
750	500	460	800	740	466	506	〃	〃	〃	〃	〃	〃

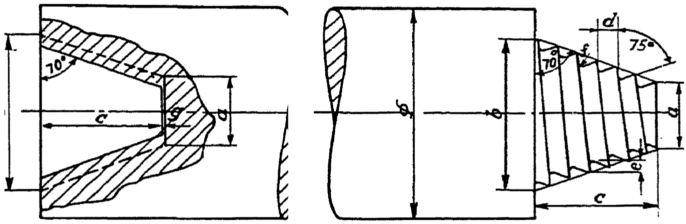
Abb. 222.

sorgfältig ausgeführt und ein geeigneter Kitt angewendet werden. Der Kitt wird in luftdicht verschlossenen Büchsen geliefert und

ist bis unmittelbar vor dem Gebrauch unter Verschluß aufzubewahren[1].

Annippeln. Die Nippel und die Gewindelöcher der Elektroden sind

Norm **Kon. Gew. für Elektroden.** mit einem ϕ von 200—650 m/m — Siemens-Planiawerke



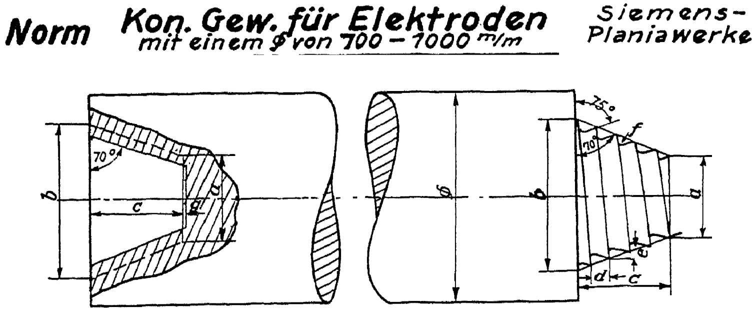
ϕ	a	b	c	d	e	f	g
200	70	150	110	25	16	3	4
225	75	170	130	25	16	3	4
250	81	190	150	30	19	〃	〃
285	92	220	175	〃	〃	〃	〃
300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
325	110	245	185	〃	〃	〃	〃
350	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
360	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
400	136	300	225	40	25	4	〃
450	149	320	235	〃	〃	〃	〃
500	179	375	270	〃	〃	〃	〃
550	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
600	205	435	315	50	32	5	〃
650	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

Abb. 223.

zunächst durch Abblasen mit Preßluft sorgfältig zu reinigen (Abb. 225). Dann wird der Kitt in die Nippellöcher der anzustückenden Elektrode

[1] Etwa an der Luft erhärteter Kitt kann durch Zusatz von ein wenig schwacher Natronlauge oder Kalilauge wieder zu einem Kleister erweicht werden.

so eingefüllt, daß der Boden des Loches etwa 1—2 cm hoch mit Kitt bedeckt ist. Ebenso sind die Gewindegänge des Nippels und das Muttergewinde gut und gleichmäßig mit Kitt zu bestreichen (Abb. 226). Nach



∅	a	b	c	d	e	f	g
700	290	500	288	50	32	5	4
750	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
800	317	550	320	〃	〃	〃	〃
850	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
900	343	590	340	〃	〃	〃	〃
950	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
1000	368	630	360	〃	〃	〃	〃

Abb. 224.

dem Einschrauben des Nippels soll der Kitt den Raum zwischen Muttergewinde und Nippel ganz ausfüllen und in die Poren eindringen. Auf die Stirnflächen ist der Kitt so reichlich aufzutragen, daß er beim Zusammenschrauben ringsum an der Stoßfuge heraustritt. Es muß

darauf geachtet werden, daß der Nippel beim Einschrauben genau bis zur Mitte in der Nippelschachtel sitzt, was man durch Abmessen leicht feststellen kann. Nach dem Zusammenschrauben müssen die Stirnflächen der Elektroden ohne Zwischenraum fest aufeinanderliegen. Danach muß während des Trocknens die angestückte Elektrode vor Erschütterungen bewahrt bleiben, damit der Kitt gut abbinden kann. Beim Anstücken von Elektroden mit konischem Gewinde ist nur so viel Kitt zu verwenden, daß die Gewindegänge damit gerade bedeckt sind. Alle am Muttergewinde und am Gewindekonus vorhandenen Unebenheiten sollen durch den Kitt ausgefüllt werden. Die Kittschicht zwischen Gewindekonus und Muttergewinde darf nicht stärker als 2 bis 3 mm sein. Dagegen können die Stirnflächen reichlich mit Kitt beschmiert werden, weil der Überschuß an der Stoßfuge herausgequetscht wird, wenn man die Elektrode festzieht. Auch hier müssen die Stirnflächen fest aufeinanderliegen.

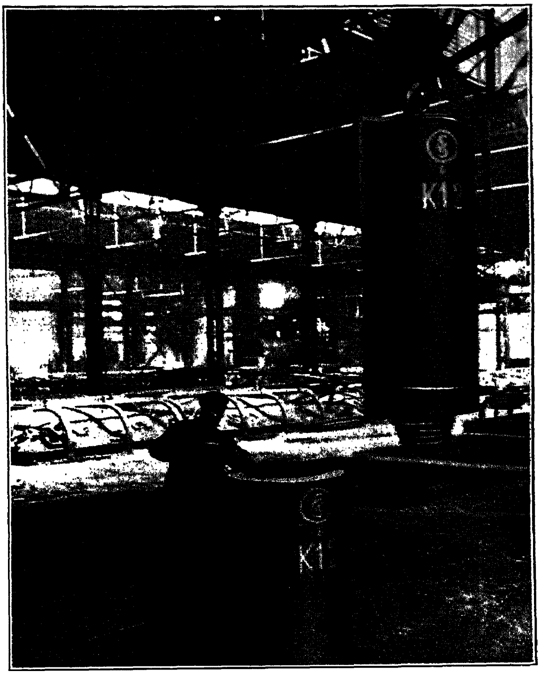


Abb. 225. Abblasen mit Preßluft.

Um die mit Gewinde versehenen Elektroden, welche die im Ofen stehenden Elektroden verlängern sollen, an den Ofen heranzuführen, benutzt man vielfach gußeiserne Tragnippel, welche eine Tragöse für den Kranhaken besitzen und mit einem dem Elektrodengewinde entsprechenden Gewinde versehen sind. Diese gußeisernen Nippel sind aber bei großen Elektroden sehr schwer, und die Arbeiter müssen große Übung und Geschicklichkeit besitzen, damit das Gewinde der Elektrode nicht beschädigt wird, wenn die verlängernde Elektrode gedreht und gleichzeitig der Gewindesteigung entsprechend mit dem Kran gesenkt werden muß. Die Siemens-Planiawerke haben ihn deshalb durch einen Gewindebolzen ersetzt, an dem die Tragöse angebracht ist und an dem der mit dem Elektrodengewinde versehene Gußeisennippel verschraubbar

aufgehängt ist. Die Steigung des Gewindes des Bolzens *d* (Abb. 227) ist gleich der des Elektrodengewindes. Griffe erleichtern das Einschrauben und Herausschrauben dieses Nippels. Ein am Gewindebolzen angebrachtes Gestänge mit einer Verriegelung verhindert, daß sich der Nippel etwa von selbst verdreht und abschraubt. Beim Einsetzen in die Elektrode wird der Nippel mit Flaschenzug oder Kran so weit gesenkt, daß etwa $1^1/_2$ bis 2 Gewindegänge über den Rand der Kohle vorstehen. Indem man den Bolzen und den Nippel gegeneinander verdreht, wird der Nippel so eingestellt, daß die Gewindegänge etwa 3 mm Spiel haben (Stellung *1* in Abb. 227). Nun wird der Bolzen am Gestänge *b* gegen Verdrehen festgehalten und der Nippel in die Kohle bis zum Anschlag gedreht; weil die Steigung der Gewinde des Bolzens und der Kohle gleich ist, behält das Gewinde noch 3 mm Spiel. Indem man den Bolzen ein wenig in entgegengesetzter Richtung dreht, verliert sich dieser Spielraum, und der Nippel kann fest eingeschraubt werden (Stellung *2*); danach dreht man den Bolzen wieder bis zum Ende in den Nippel, wobei der Kranhaken gesenkt werden muß, und verriegelt den Bolzen durch das Hebelgestänge gegen den Nippel. Nunmehr wird die Elektrode angehoben und über die anzustückende Restelektrode geführt. Nachdem sowohl das Innengewinde wie auch das Zapfengewinde mit dem Kitt bestrichen ist, wird die neue Elektrode *f* bis auf etwa zwei freie Gewindegänge in die Restelektrode *g* gesenkt und im gleichen Sinne verfahren wie beim Einschrauben des Nippels in die Kohle. Die Kohle *f* wird so verdreht, daß zwischen den Zahnflanken etwa 2—3 mm Spiel bleibt, damit beim Einschrauben der aufgestrichene Kitt nicht fortgerieben wird (Stellung *3*). Nachdem die Verriegelung geöffnet ist, wird der Gewindebolzen mit Öse und Haltearm *b* von Hand festgehalten und

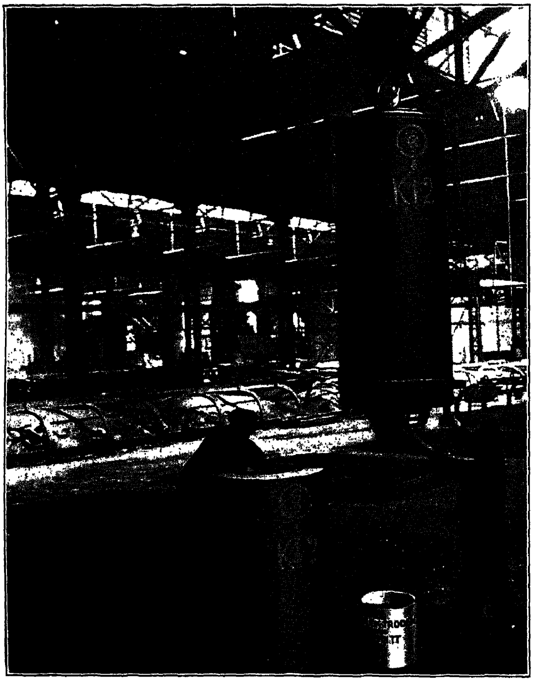


Abb. 226. Bestreichen mit Kitt.

die Kohle gedreht, wobei sie sich dem Gewinde entsprechend senkt. Mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung, wie Kettenschlüssel, Schelle oder ähnlichem, werden endlich beide Kohlen fest miteinander verschraubt (Stellung *4*). Schließlich wird der gußeiserne Nippel aus der

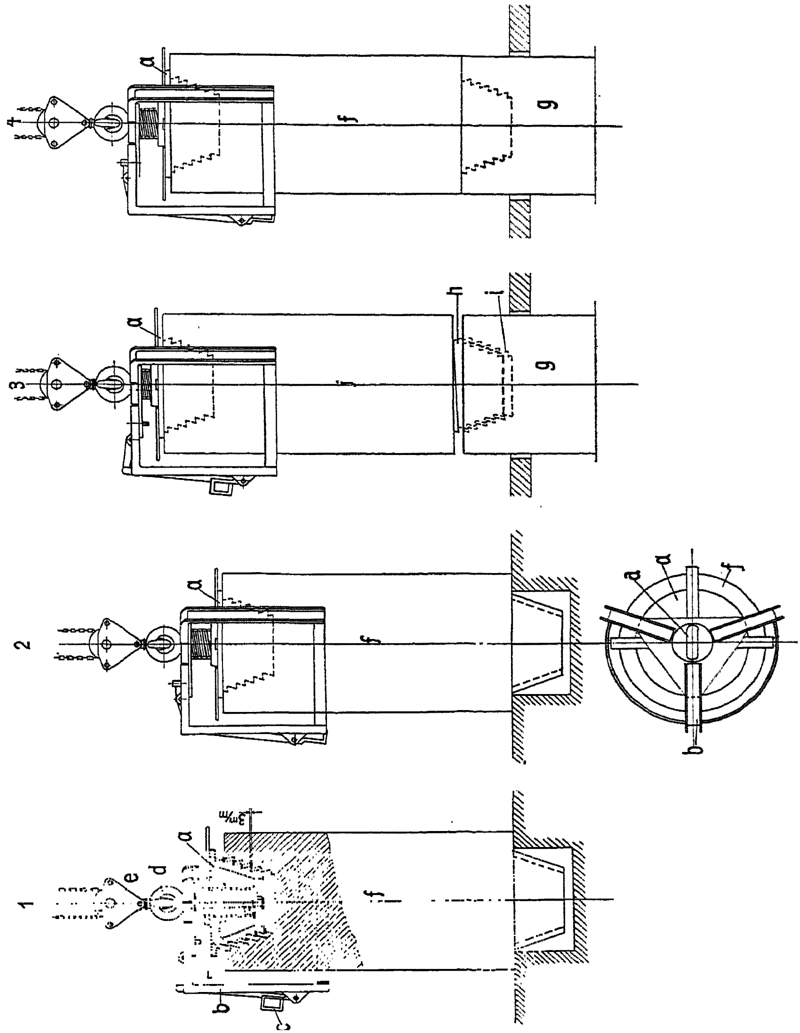


Abb. 227. Tragnippel für Elektroden.

oberen Kohle wieder herausgedreht, wobei er sich auf dem Tragbolzen entsprechend hochschraubt. Nach etwa 2 Umdrehungen ist er vom Gewinde frei, kann vom Hubwerk weiter herausgezogen und zum Anstücken einer anderen Elektrode benutzt werden. Durch diese Vorrichtung der Siemens-Planiawerke wird vermieden, daß sich Nippel

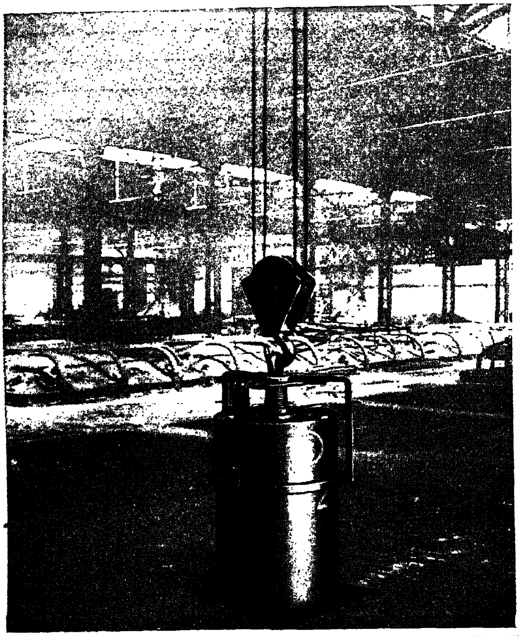


Abb. 228. Heben der Elektrode.

oder Elektrode auf die Gewindespitzen aufsetzen und diese vielleicht abbrechen; das Gewinde des Nippels und der anzusetzenden Elektrode wird vom Hubwerk getragen, bis das Verschrauben vollständig beendet ist. Abb. 228—230 zeigen, wie die Elektroden durch diesen Tragnippel mit Gegengewinde gehoben und wie sie angestückt werden.

Hochöfen für Roheisen. In Schweden, das reich an besten Eisenerzen und Wasserkräften ist, regte sich mit der Entwicklung der elektrischen Öfen naturgemäß das Verlangen, an dem für den Hochofen nötigen Koks durch elektrische Heizung zu sparen. Nachdem die durch mehrere Jahre geführten Versuche ergeben hatten, daß die für Karbid und Ferrosilizium geeigneten Öfen ohne Schacht für Roheisen unwirtschaftlich sind, wurden in Schweden eine Reihe von elektrisch geheizten Hochöfen für 40000—45000 kW erbaut. Bei dem Ofen der Gesellschaft Elektrometall (Abb. 231) erhebt sich über dem eigent-

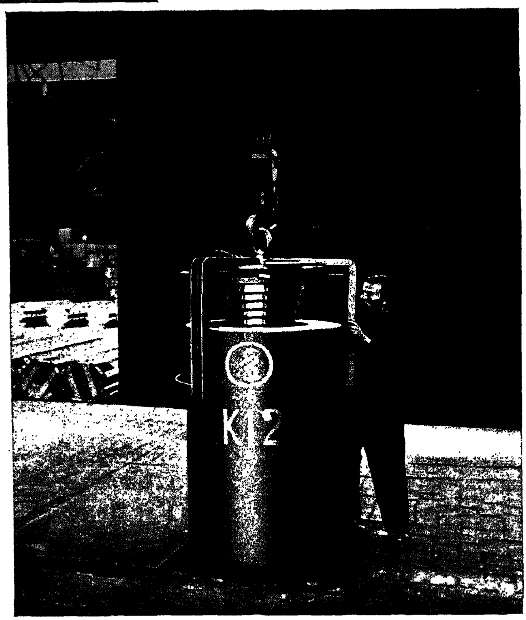


Abb. 229. Überführen der Elektrode.

lichen Schmelzraum ein hoher Schacht, welchem die Beschickung ebenso wie bei den gewöhnlichen Hochöfen unter gasdichtem Glockenverschluß zugeführt wird. Die mächtigen Kohlenelektroden (6 bis 8 von 60—80 cm Durchmesser) durchsetzen das Gewölbe des Herdes; an der Durchtrittsstelle werden sie durch Wasser gekühlt. Um auch das Gewölbe zu kühlen, wird von den oben im Schacht abgesogenen Gasen ein Teil zwischen den Elektroden unmittelbar unter dem Gewölbe wieder eingeblasen; dadurch wird dessen Haltbarkeit wesentlich erhöht und zugleich verteilen sich die Hitze und die chemischen Umsetzungen gleichmäßiger zwischen Herd und Schacht. Auf 1 t Roheisen werden rund 2000 kWh, 400 kg Holzkohle und 3 kg Elektrodenkohle verbraucht. Gegen Änderungen in der Beschickung ist der elektrische Hochofen sehr empfindlich. Die Menge der Kohle muß genau dem Sauerstoffgehalt des Erzes angepaßt werden. Weil keine Luft eingeblasen wird, verbrennt ein Überschuß an Kohle nicht, sondern häuft sich im Herde an und verursacht heißen Gang des Ofens; das Reaktionsgebiet kann dann bis zum Schacht emporsteigen. Wenn es umgekehrt an Kohle fehlt, wird das Erz unvollständig reduziert; die Schlacke enthält viel Eisen, und der Ofen geht kalt. Auch die Temperatur des Abstechens ist schwieriger als beim gewöhnlichen Hochofen zu regeln.

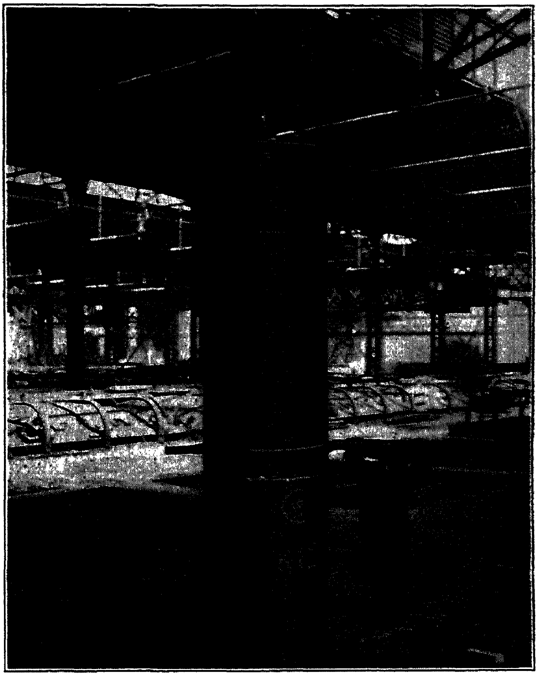


Abb. 230. Anstücken der Elektrode.

Messingofen. Auch für die Metallwerke ist der elektrische Schmelzofen wichtig geworden. Z. B. waren Anfang 1927 in Nordamerika (Vereinigte Staaten und Kanada) in Messingwalzwerken 311 elektrische Öfen in Betrieb, in welchen rund $^1/_2$ Million Tonnen Metall geschmolzen wurden. Abb. 232 zeigt als Beispiel einen kleinen drehbaren Messingofen von Booth im Schnitt: Abb. 233 in Ansicht. Er wird mit 100 kg Abfällen von Messing und Kupfer beschickt, um Messing- und Bronze-

güsse zu liefern. Die Elektroden aus Achesongraphit sind 65 mm dick. Die zylindrische Trommel ist auf 4 Rollen gelagert und wird dauernd durch einen kleinen Elektromotor gedreht. Die beiden Elektroden sind

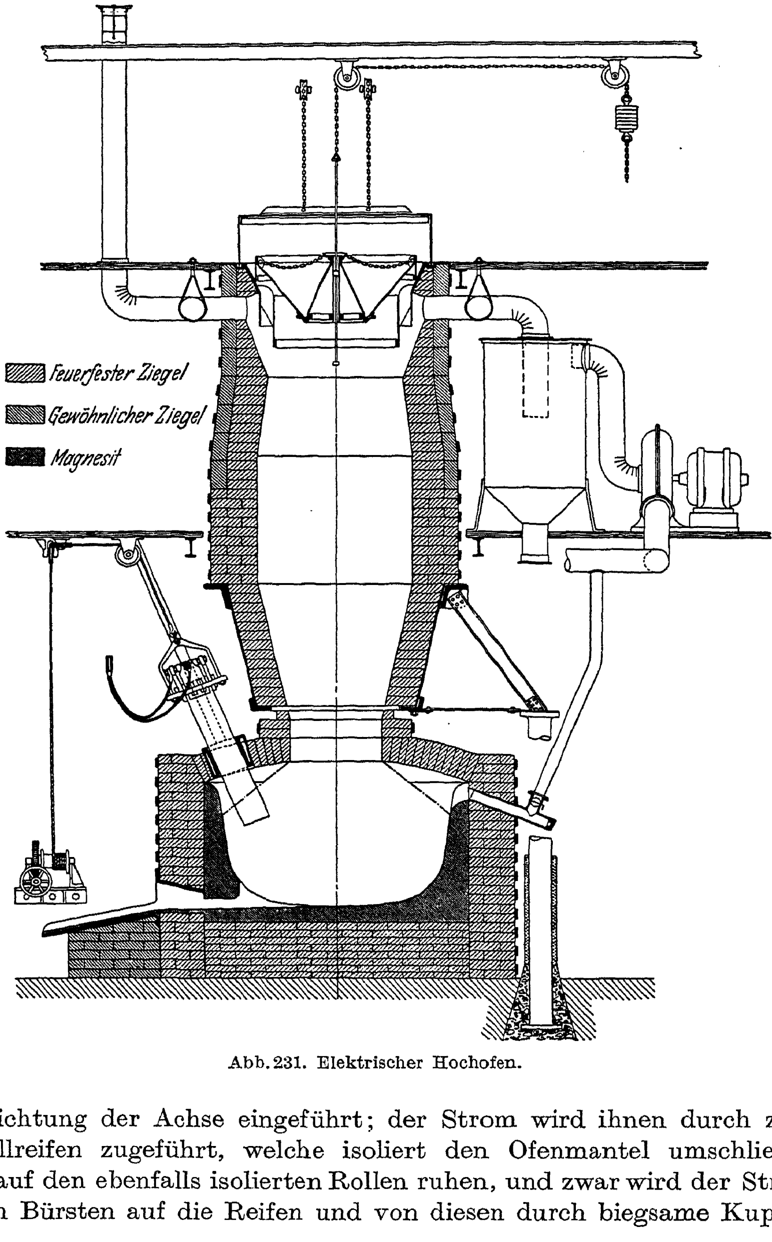


Abb. 231. Elektrischer Hochofen.

in Richtung der Achse eingeführt; der Strom wird ihnen durch zwei Metallreifen zugeführt, welche isoliert den Ofenmantel umschließen und auf den ebenfalls isolierten Rollen ruhen, und zwar wird der Strom durch Bürsten auf die Reifen und von diesen durch biegsame Kupfer-

bänder zu den Elektrodenfassungen übertragen. Der in der Mitte des Herdes brennende Lichtbogen erwärmt das Bad gleichmäßig. Die in den Herdwänden aufgenommene Wärme wird beim Drehen der Trommel von dem eingebrachten Metall aufgenommen. Weil die Herdwände also durch das Metall immer wieder gekühlt werden, so wird die Zustellung geschont und gleichmäßig abgenutzt, so daß die Lebensdauer des Ofens groß ist. Ein wesentlicher Vorzug der elektrischen Innenheizung besteht für die Gelbgießerei darin, daß wenig Zink durch Verdampfen verloren geht und die frühere Belästigung durch die Metalldämpfe beseitigt wird.

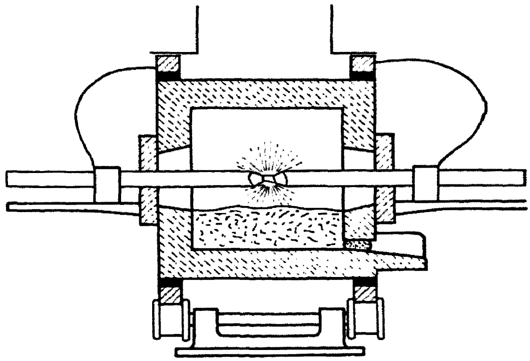


Abb. 232. Messing-Schmelzofen von Booth.

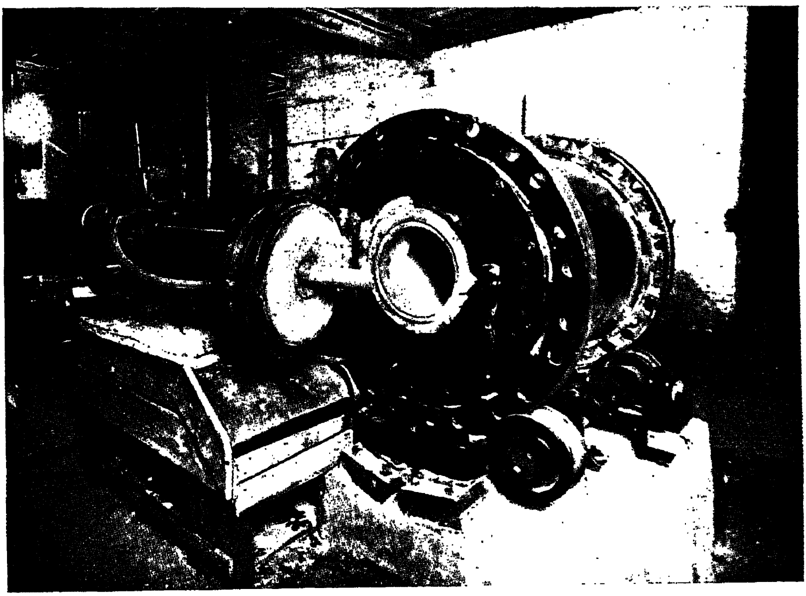


Abb. 233. Messingschmelzofen von Booth.

Wer einmal in einer Gelbgießerei gearbeitet hat, wird dies dankbar anerkennen.

Zinkgewinnung. Auch bei der Zinkgewinnung ist der elektrische Ofen

wertvoll, weil er die große Zahl der Retorten und deren starken Verschleiß beim gewöhnlichen Verfahren erspart. Indessen ist nur bei sehr billigem Strom die elektrothermische Zinkgewinnung wirtschaftlich und außerdem hat es viel Mühe gemacht, im elektrischen Ofen gute

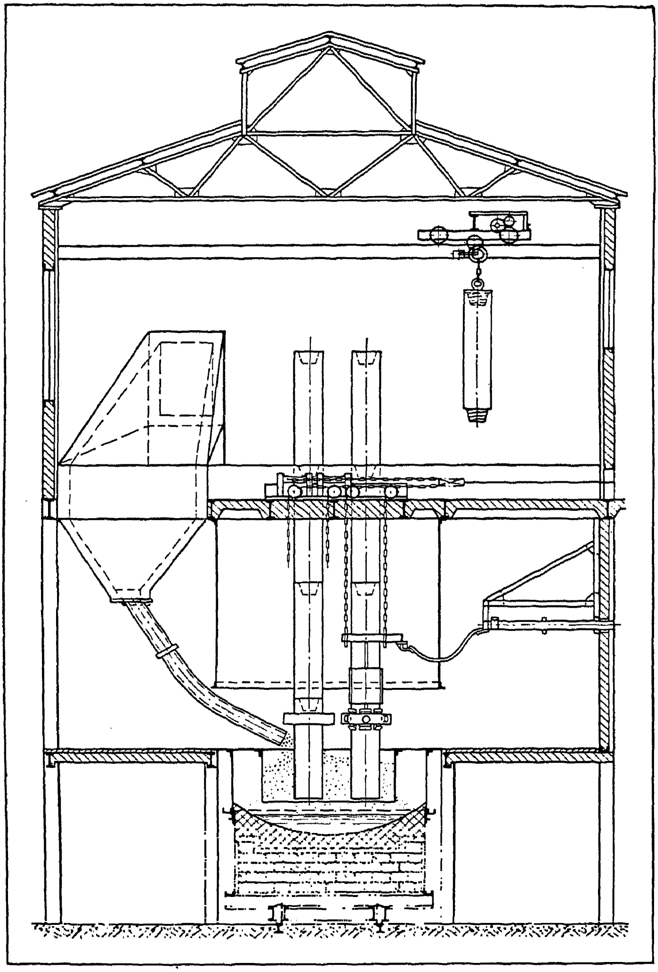


Abb. 234. Ofen für Schmelzzement.

Ausbeuten an Metall zu erzielen, weil sich der hocherhitzte Zinkdampf nicht rasch genug zu gut zusammengeflossenem Metall verdichtete und übergroße Mengen von Zinkstaub abfielen. Man strebte deshalb, den Weg vom Herd zum Kondensationsraum und die Zeit der Kondensation möglichst abzukürzen. Die Temperatur des Kondensations-

raumes ist zweckmäßig dicht über dem Schmelzpunkt des Zinks zu halten. Um die Temperatur im Schmelzraum zu erniedrigen und besser zu beherrschen, ersetzte man die Lichtbogenerhitzung teilweise oder ganz durch Widerstandserhitzung. Je höher der Zinkgehalt des Erzes, um so besser ist die Metallausbeute; in dieser Hinsicht ist der elektrische Ofen anspruchsvoller als der Retortenofen. Bei einem französischen Ofen, welcher bei einer Belastung mit etwa 370 kW 4 t 35% iges Zinkerz

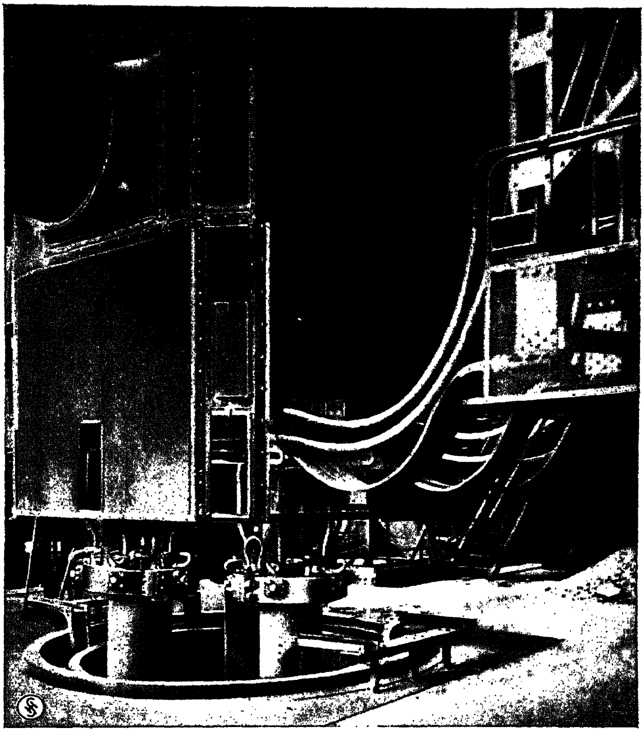


Abb. 235. Öfen für Schmelzzement (Oberteil).

in 24 Stunden verarbeitete, wurden auf die Tonne Erz 2000—2200 kWh und 12 kg Elektroden verbraucht.

Phosphoröfen. Phosphor wird dagegen heutzutage ausschließlich im elektrischen Ofen hergestellt. Die großen gasdicht geschlossenen Öfen besitzen Kohlenelektroden bis zu 1 m Durchmesser, welche von oben in den Herd hineinragen; die Beschickung aus natürlichem phosphorsaurem Kalk, Quarzsand und Koks wird auf etwa 1500° erhitzt. Hauptabnehmer für den Phosphor ist die Zündholzindustrie. Während des Weltkrieges wurden große Mengen Phosphor für Brandbomben

hergestellt. Neuerdings benutzt man den elektrischen Phosphorofen, um Phosphorsäure zu gewinnen, indem man dem Ofen gerade so viel

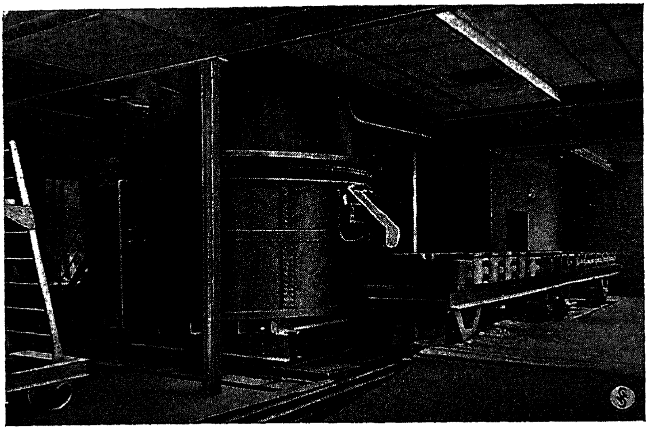


Abb. 236. Ofen für Schmelzzement (Unterteil).

Luft zuführt, daß der Phosphor gleich zu P_2O_5 verbrennt; die Phosphorsäure wird nachher mit synthetischem Ammoniak zu Ammonphosphat vereinigt.

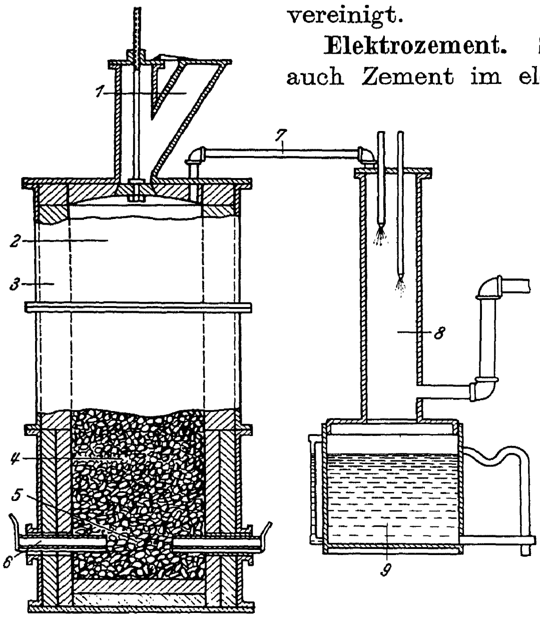


Abb. 237. Ofen für Schwefelkohlenstoff.

Elektrozement. Seit einigen Jahren wird auch Zement im elektrischen Ofen erschmolzen, und zwar ein Tonerdezement aus einem Gemisch von entwässertem Bauxit und gebranntem Kalk. Abb. 234 zeigt einen Schnitt durch den geschlossenen Lichtbogenofen. Seine 3 Rundelektroden sind im Dreieck angeordnet. Die Seitenwände werden durch Berieseln mit Wasser gekühlt. Die Beschickung schmilzt bei etwa 1400°. Damit nicht durch Verdampfen und Nebenvorgänge die Ausbeute verschlechtert wird, darf das Bad nicht überhitzt werden. Deshalb ist die Oberfläche des Bades

groß, der Querschnitt der Elektroden reichlich bemessen und die nötige Energiezufuhr bei geringerer Stromdichte durch höhere Lichtbogenspannung erzielt. Auf 1 t Zementklinker werden 8 kg Elektrodenkohle verbraucht. Abb. 235 zeigt den oberen Teil des Ofens mit den Elektrodenfassungen und den biegsamen Stromzuleitungen. Die 500 mm dicken Rundelektroden werden aus einzelnen 2—3 m langen Stücken mittels konischer Nippel zusammengesetzt. Die Rutschfassungen aus Spezialguß besitzen wassergekühlte Backen, welche durch einen ebenfalls wassergekühlten Ring aus Stahlguß zusammengehalten werden. Durch den Ring geführte Druckschrauben pressen die Backen an die Elektrode. Die Fassung wird an den Backen aufgehängt, welche durch Gelenke an einem Tragzylinder befestigt sind. Das Ganze hängt an 4 Ketten, die zur Hubwinde geführt werden, in einem Tragrahmen. Der Staub und die Abgase werden aus einer Haube durch einen starken Ventilator abgesogen. Abb. 236 zeigt den Unterteil des Ofens mit dem Auslauf für den schmelzflüssigen Zement.

Schwefelkohlenstoff. Auch für die Herstellung von Schwefelkohlenstoff aus Schwefeldampf und glühender Kohle eignet sich der elektrische Ofen. Hierfür ist keine besonders hohe Temperatur notwendig; die elektrische Innenheizung hat aber den Vorteil der Bequemlichkeit und der genauen Regelbarkeit. Abb. 237 zeigt einen amerikanischen Schwefelkohlenstoffofen. Er besteht aus einem gußeisernen Gehäuse, welches mit feuerfesten Steinen ausgekleidet ist. Die von der Seite in die Beschickung eingeführten Elektroden *6* werden mit Wasser gekühlt; zwischen ihnen befindet sich als Heizwiderstand *5* zerkleinerte Elektrodenkohle. Über den Heizwiderstand wird Holzkohle *4* geschüttet. Der Schwefel wird in einem mit Wasserdampf geheizten Kessel geschmolzen und seitlich durch einen Flüssigkeitsverschluß in den Ofen eingeführt. Der Schwefelkohlenstoff entweicht oben durch ein Rohr *7* in einen Raum *8*, wo er durch fließende Wasser verdichtet wird und die Verunreinigungen fortgewaschen werden. Die Holzkohle wird durch einen Verschluß *1* nach Bedarf nachgegeben. Der Ofenarbeiter beobachtet durch Schaulöcher die Glut im Ofen und regelt die Schwefelzufuhr derart, daß im heißesten Gebiet etwa 1000° herrschen. Der Schwefelkohlenstoff wird zur Bekämpfung von Schädlingen, zur Herstellung von Rhodanverbindungen, Tetrachlorkohlenstoff usw., hauptsächlich aber von der Kunstseidenindustrie für das Viskoseverfahren benötigt.

Zwölftes Kapitel.

Die Verwendung der Kohlenelektroden in der Schmelzelektrolyse.

Allgemeines. Während bei der Karbiderzeugung und den anderen elektrothermischen Verfahren der elektrische Strom lediglich dazu dient, im Ofen die Beschickung auf die zur Umsetzung nötige Temperatur zu bringen, hat bei der Schmelzelektrolyse der Strom die Hauptaufgabe, den geschmolzenen Elektrolyten zu zerlegen, freilich gewöhnlich auch die Nebenaufgabe, das Bad oberhalb der Erstarrungstemperatur zu erhalten. Bei der Schmelzelektrolyse wird, wie überhaupt bei der Elektrolyse, mit Gleichstrom gearbeitet. Der chemische Vorgang an der mit dem einen Pol verbundenen Elektrode ist völlig verschieden von dem Vorgange an der anderen Elektrode. Man unterscheidet deshalb schon durch den Namen die mit dem negativen Pol verbundene Kathode von der mit dem positiven Pol verbundenen Anode. Das Metall wird an der Kathode abgeschieden.

Aluminium. Die wichtigste technische Anwendung der Schmelzelektrolyse ist die Aluminiumgewinnung, welche vor bald einem halben Jahrhundert etwa gleichzeitig von dem Amerikaner Hall und dem Franzosen Héroult durch Elektrolyse einer Lösung von Tonerde im geschmolzenen Kryolith technisch verwirklicht wurde. Hall benutzte für seine ersten erfolgreichen Versuche Tontiegel, die er mit Kohle ausfütterte, und als Anoden meist Kupferstäbe; später ersetzte er die Kupferstäbe durch Kohlenanoden. Abb. 238 zeigt schematisch ein Aluminiumbad. Das Badgefäß ist eine aus starken Eisenblechen

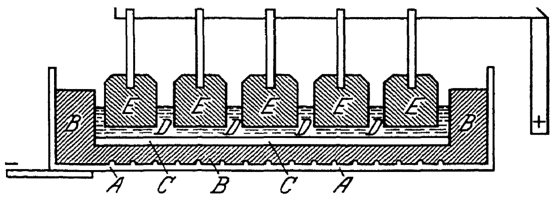


Abb. 238. Aluminiumbad.

zusammengenietete Wanne A von z. B. $2^1/_2$ m Länge, 1 m Breite und $^1/_2$ m Höhe. Ihr Boden B ist mit gut leitender Elektrodenkohle belegt, in welche von unten her sogenannte Leitbleche hineinragen, um die Stromzufuhr zu erleichtern und den Strom möglichst gleichmäßig zu verteilen. Man setzt diese Auskleidung, welche mit dem negativen Pol der Stromquelle verbunden ist, aus viereckigen Kohlenklötzen zusammen oder stampft sie aus Elektrodenmasse, die man in besonderen Öfen oder durch den elektrischen Strom selbst gar brennt. Die Seitenwände B werden mit feuerfesten Steinen dick ausgekleidet. Die Anodenkohlen E hängen von oben her in die Schmelze D hinein; sie werden mit Hilfe

eingeschraubter oder eingekeilter eiserner Nippel[1] von dicken Kupferschienen getragen, die ihrerseits an waagerechte Stromschienen angeklemmt und durch diese mit dem positiven Pol verbunden sind. Am Boden des Bades sammelt sich während der Elektrolyse das Aluminium als geschmolzene Schicht *C* an. Die Stromstärke wird so bemessen, daß das Bad flüssig bleibt und sich mit einer dünnen Kruste von erstarrter Schmelze bedeckt, in welcher um die Anode herum noch Schlitze offen bleiben, durch welche das Kohlenoxyd entweichen kann. Jede Anode von üblicher Größe trägt auf einem Querschnitt von etwa 800 cm^2 rund 1000 A, so daß ein Bad mit 12 Anoden in zwei Reihen rund 12000 A erfordert. Die anodische Stromdichte ist dann etwa $1^1/_4$ A. Die Badspannung beträgt gegen 7 Volt. Eine große Zahl von Bädern sind hintereinandergeschaltet, bei 500 Volt Betriebsspannung etwa 70 Bäder, die in einer großen Halle in mehreren Reihen nebeneinanderstehen.

Durch die Elektrolyse wird Tonerde und Elektrodenkohle verbraucht nach der Gleichung

$$Al_2O_3 + 3\ C = 2\ Al + 3\ CO\,.$$

Allstündlich wird Tonerde nachgegeben; sie wird schon vorher auf die Kruste des Bades geschüttet, um durch die Hitze jede Spur von Feuchtigkeit aus ihr zu vertreiben. Durch die weiße Tonerde erscheint das Bad wie mit Schnee bedeckt (Abb. 239). Zum Nachgeben der Tonerde stößt der Arbeiter mit einer Eisenstange Löcher in die dünne Kruste und rührt dann die Tonerde ein. Das am Boden des Bades angesammelte Aluminium wird täglich ausgeschöpft oder abgezapft.

Die Anoden, welche durch die Elektrolyse allmählich aufgezehrt werden, sind ihrem Abbrand entsprechend täglich mehreremal zu senken, wobei der richtige Abstand von der Oberfläche des geschmolzenen Metalles sorgfältig innegehalten wird. Die Bedingung, daß alle Anoden des Bades gleichmäßig mit Strom belastet sind, ist, wie überhaupt bei jeder Parallelschaltung, im Betriebe nicht leicht innezuhalten; sie muß aber, um ungleichmäßige Abnutzung und Überlastungen zu verhindern, möglichst erfüllt werden, indem man die den einzelnen Anoden zufließende Strommenge oft mißt und die Anoden, wenn nötig, verstellt. Sobald eine Anode bis auf eine dünne Platte aufgezehrt ist, wird eine neue am Rande des Bades sorgfältig vorgewärmte Anode eingehängt. Die in Deutschland üblichen Anoden von 35 cm Höhe (bei 35×32 cm Querschnitt) werden in etwa zwei Wochen bis auf eine

[1] Früher hat man schon in die grünen Anodenkohlen eiserne Nippel eingesetzt und mit einem Kitt befestigt; sie waren unten gabelförmig gespalten. Vor dem Einsetzen in den Brennofen wurden die Nippel mit Schamotte gegen Abbrand besonders geschützt. Später ging man zum heute üblichen Verfahren über, die Nippel in die gebrannten Kohlen einzuschrauben.

dün ... gezehrt, die noch etwa 10% vom Anfangsgewicht der

... Umsatzgleichung berechnet sich, daß auf 1 kg abgeschie-denen Aluminium theoretisch $^2/_3$ kg Elektrodenkohle benötigt werden. In Wirklichkeit ist der Verbrauch nicht selten größer, öfter aber auch etwas kleiner. Daß weniger als die theoretische Menge durch die Elektrolyse verbraucht wird, erscheint zunächst unglaublich. Aber die Voraussetzung der obigen Gleichung, daß an der Anode die Kohle zu Kohlenoxyd verbrennt, ist nicht einwandfrei. Wenn man nämlich annimmt, daß durch die anodische Oxydation zunächst Kohlendioxyd entsteht, also 1 Atom Kohlenstoff nicht eines, sondern zwei Atome

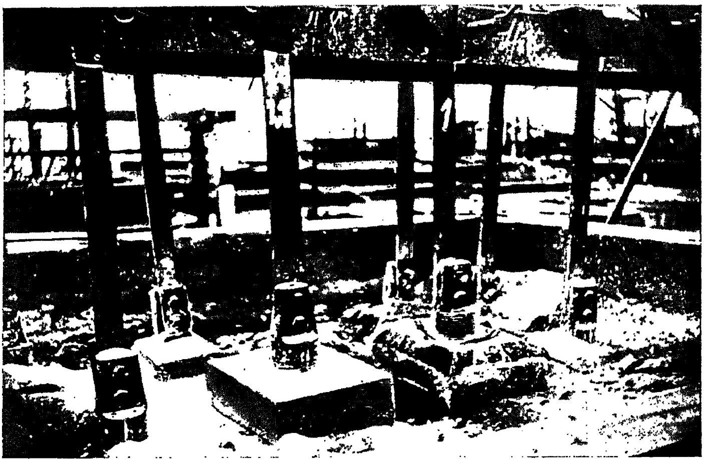


Abb. 239. Aluminiumbad.

Sauerstoff bindet, so würde man theoretisch sogar nur halb soviel, nämlich $^1/_3$ kg Kohle, auf 1 kg Aluminium nötig haben. Wahrscheinlich entsteht zunächst Kohlendioxyd, welches aber durch die glühende Kohle sofort größtenteils zu Kohlenoxyd reduziert wird. Dieses entweicht durch die Spalten in der Kruste und verbrennt in kleinen Flämmchen.

Die Reste von den Anoden gelangen in die Elektrodenfabrik zurück, werden dort, wie früher beschrieben, von anhaftender Schmelze gereinigt, gemahlen und zu der frischen Mischung zugesetzt. Je länger die Anode ist, um so kleiner ist verhältnismäßig der Verlust durch den zurückbleibenden Rest, so daß es von diesem Standpunkte aus vorteilhaft erscheint, möglichst lange Anoden zu verwenden, was man namentlich früher oft getan hat. Andererseits bietet aber die längere Anode dem Strome, der an ihrem Kopfe zugeführt wird, einen größeren Widerstand, zu dessen Überwindung mehr elektrische Energie gebraucht wird. In

Deutschland können wir deshalb wegen unserer verhältnismäßig hohen Strompreise nur die kurzen Anodenblöcke verwenden.

Man könnte daran denken, zur Vermeidung von Resten auch hier anzunippeln; das würde aber hier besondere Schwierigkeiten mit sich bringen. Wohl aber wird in einem spanischen Aluminiumwerke die Söderberg-Elektrode verwendet. In das runde Bad taucht eine einzige dicke Anode, welcher der Strom durch die Ringfassung zugeführt wird. Wenn der Eisenblechmantel der Söderberg-Elektrode sehr dünn ist, so macht die kleine Menge Eisen, welche durch ihn in die Schmelze gerät, nicht viel aus. Man kann auch den Blechmantel und die von ihm in das Innere der Elektrode ragenden Rippen nach Möglichkeit aus Aluminium machen. Freilich wird durch die Verwendung der Söderberg-Elektrode die Spannung des Aluminiumbades um etwa 1 Volt erhöht, was bei der an sich niedrigen Badspannung sehr ins Gewicht fällt.



Abb. 240.
Bruchfläche einer Aluminium-Anode. V :

Ebenso wie die anderen Rohstoffe Tonerde und auch Kryolith muß die Elektrodenkohle von schädlichen Verunreinigungen, im besonderen Eisen und Silizium möglichst frei sein, weil diese in das Bad und aus ihm in das Aluminium übergehen[1]. Die Mischung für die Anoden wird daher mit reinstem Petrolkoks hergestellt. Abb. 240 zeigt an einer Bruchfläche das feinkörnige Gefüge der Aluminiumanode. Die Anode darf nur etwa 1% Asche mit möglichst wenig Eisen und Silizium enthalten. Es ist ferner wichtig, daß sich die Elektrode gleichmäßig bis auf eine dünne Platte abnutzt. Gelegentlich kommt es vor, daß sich die Elektrode durch Abrieseln über dem Bade einschnürt. Abb. 241 zeigt dies an einer der beiden aus dem Bade emporgehobenen Anoden. Abb. 242 stellt eine durch Abrieseln sehr stark eingeschnürte Anode aus der Kriegszeit dar, welche aus dem Bade entfernt werden mußte, damit sie nicht abbrach. Die unangenehme Erscheinung des Abrieselns hängt

[1] Man kann freilich unreines Aluminium elektrolytisch nach dem Verfahren von Hoopes reinigen, indem man es als Anode sich im Bade auflösen läßt und es kathodisch als reinstes Metall abscheidet. Näheres siehe in meiner Technischen Elektrochemie, S. 236—238.

nach [illegible] mit Ungleichheiten und Spannungen im Gefüge zusammen[illegible]. Meist hört das Abrieseln von selbst auf, nachdem es bis auf eine gewisse Tiefe vorgeschritten ist und festere Schichten erreicht hat. Es ist auch darum unangenehm, weil der abgerieselte Kohlenstaub das Bad um die Anoden herum bedeckt und wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit das Wärmegleichgewicht stört, durch welches die richtige Temperatur im Bade aufrechterhalten wird.

Bei der Schmelzelektrolyse tritt nicht selten eine merkwürdige Störung dadurch auf, daß die Anode sich mit einem Kranz von winzigen

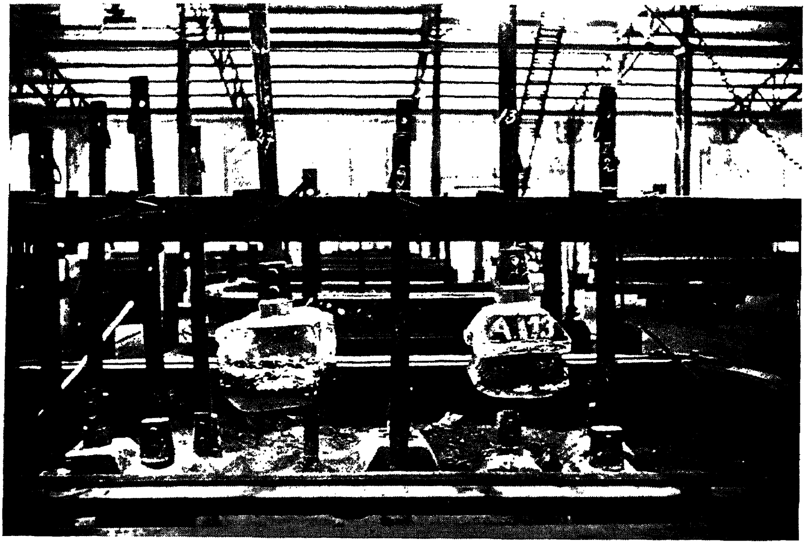


Abb. 241. Aluminiumbad. Zwei Anoden gehoben.

Lichtbögen umgibt. Dieser Anodeneffekt entsteht, indem sich ein hoher Übergangswiderstand zwischen Anode und Schmelze bildet. Infolgedessen schnellt die Badspannung empor, und das Bad überhitzt sich; es muß dann sofort ausgeschaltet werden, damit es nicht zu kochen beginnt und viel Metall verlorengeht. Das Emporschnellen der Spannung ist ein Zeichen dafür, daß die Schmelze an Tonerde allzu stark verarmt ist.

Eine sehr ärgerliche Störung wird durch schlecht sitzende Nippel verschuldet. Sobald der Übergangswiderstand an dem oben in die Anode eingeschraubten eisernen Nippel nicht klein genug ist, erhitzt sich diese Stelle, und zwar unter Umständen bis zum Erglühen und Abschmelzen des Nippels. Schon beim Beginn des Ausbrennens muß man die Anode schleunigst auswechseln; sonst kann, abgesehen von der Störung, das Bad durch hineinfallendes Eisen verunreinigt werden.

Der Kohlenboden des Aluminiumbades wird von dem geschmolzenen Aluminium unter Bildung von Aluminiumkarbid angegriffen und durchsetzt sich allmählich mit gelben Schichten von AlC, wodurch die Stromzufuhr erschwert und vor allem ungleichmäßig wird. Schließlich muß der Kohlenboden erneuert werden.

Magnesium. In weit bescheideneren Mengen als Aluminium wird durch Schmelzelektrolyse Magnesium gewonnen. Elektrolyt ist eine wasserfreie Schmelze von Magnesiumkaliumchlorid (Karnallit) oder Magnesiumnatriumchlorid. An der Anode entwickelt sich Chlorgas, und die Anodenkohle nimmt an der Umsetzung nicht teil, so daß wir hier einen Elektrodenverbrauch hauptsächlich nur durch Abbrand an der Luft und etwaiges Abfallen kleiner Teilchen haben. Abb. 243 zeigt einen amerikanischen Magnesiumofen, der von außen durch ein gelindes Kohlenfeuer erhitzt wird. Der gußeiserne Kessel dient gleichzeitig als Kathode; als Anode taucht ein 15 cm dicker Stab aus Achesongraphit ein. Der Elektrolyt Magnesiumnatriumchlorid schmilzt bei 620°; die Temperatur muß aber an der Kathode über dem Schmelzpunkte des abzuscheidenden Metalles liegen, weil man sonst keine gut zusammenfließenden Metalltropfen, sondern nur fein verteiltes und deshalb wertloses Metall erhält. Die Außenheizung und die zugeführte elektrische Energie sind so abgestimmt, daß die Kesselwand nicht verkrustet und die Temperatur der Schmelze um 700° bleibt. Das abgeschiedene Metall sammelt sich an der Oberfläche und wird stündlich mit einem Sieblöffel ausgeschöpft, durch dessen 0,8 mm weite Löchlein die Salzschmelze abläuft, aber das Metall wegen seiner hohen Oberflächenspannung nicht hindurchtritt. Das an der Anode entwickelte Chlor wird seitlich durch ein weites Steinzeugrohr abgesogen. Die Stromstärke beträgt 2200 A, was einer anodischen Stromdichte von 2,5 A/cm² entspricht. Weil Magnesiumchlorid durch die Elektrolyse verbraucht wird, senkt sich der Spiegel der Schmelze und die Anode muß entsprechend gesenkt werden. Sobald die Schmelze nur noch 10% Magnesiumchlorid neben 90% Natriumchlorid enthält, muß sie erneuert werden, weil sich sonst natriumhaltiges Metall abscheiden würde. Eine



Abb. 242. Abgerieselte Anode.

Hauptschwierigkeit besteht bei der Magnesiumelektrolyse in der Herstellung einer reinen, vollkommen wasserfreien Schmelze. Ferner muß man die Eigenschaft des Magnesiums beachten, sich in glühendem Zustande sehr leicht mit dem Sauerstoff und dem Stickstoff der Luft zu verbinden. Sobald das Metall zu größeren Tropfen zusammengeflossen ist, wird es durch eine dünne Haut der Badschmelze gegen Abbrand befriedigend geschützt. Etwa an die Anode geratendes Metall würde durch das dort entwickelte Chlor sofort aufgezehrt werden; man soll deshalb die Anode mit einem Schirm umgeben. Der Hauptteil des Magnesiums wird zu der Legierung Elektronmetall verarbeitet, welche z. B. 6% Aluminium, 1% Zink und 0,5% Mangan als Zusätze enthält, welche die Zugfestigkeit und die Härte des Magnesiums erhöhen. Das Elektronmetall ist noch bedeutend leichter als Aluminium und wird deshalb oft für Gegenstände verwendet, bei denen es auf möglichste Gewichtsersparnis ankommt, z. B. die Räder der Berliner Autobusse mit Vollgummibereifung.

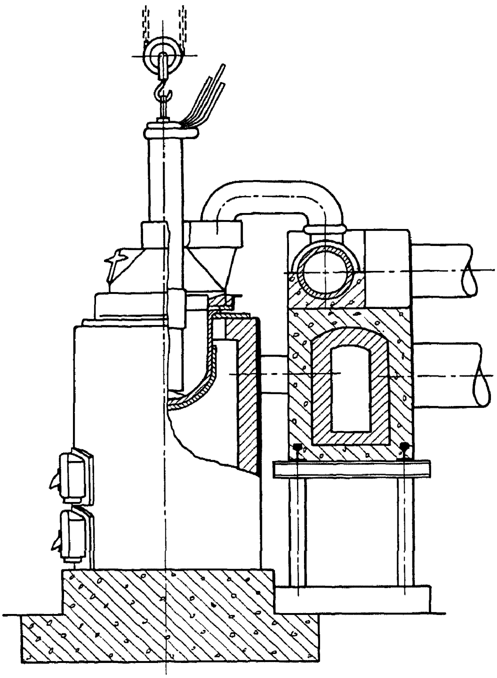


Abb. 243. Magnesium-Herstellung.

Natrium. Metallisches Natrium wird zumeist durch Elektrolyse von geschmolzenem Ätznatron bei etwa 315° gewonnen. An der Anode entwickelt sich Sauerstoff; sie besteht hier zweckmäßig aus Nickel. Wohl aber ist bei dem neuesten Verfahren, welches das viel billigere Chlornatrium (Kochsalz) als Elektrolyt verwendet, die Anodenkohle unentbehrlich, weil ja hier an der Anode Chlor entwickelt wird, welches das Metall glatt auflösen würde. Bei dem hohen Schmelzpunkte von Chlornatrium, der freilich durch Zusatz anderer Salze bis auf 600° herabgedrückt werden kann, ist in Anbetracht der leichten Flüchtigkeit und der außerordentlichen chemischen Angriffskraft des dünnflüssigen Natriums die Ausgestaltung der Apparatur sehr schwierig gewesen. Abb. 244 zeigt ein amerikanisches Bad dieser Art, dessen Anode *b* aus Graphit ringförmig zusammengesetzt ist. Die hohle gußeiserne Kathode *k* ragt durch den Boden des Gefäßes empor. Der Kathodenraum wird

gegen den Anodenraum durch einen Kühlring abgeschirmt, welcher aus mehreren Rohrwindungen besteht, die von Kühlwasser durchflossen werden. Das an der Kathode abgeschiedene flüssige Natrium soll im Innern der Kathode hinab fließen und sich unten in einem Gefäß ansammeln, wo es durch Paraffinöl gegen die Luft geschützt wird[1].

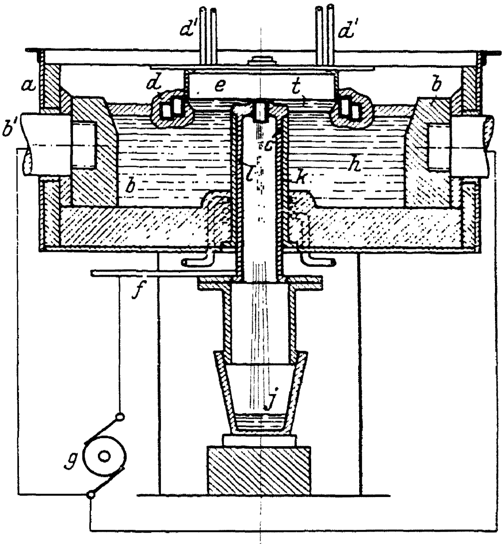


Abb. 244. Natriumgewinnung aus Natriumchlorid.

Cermischmetall. Abb. 245 zeigt schematisch das einfache Gefäß, in welchem durch Elektrolyse Cermischmetall hergestellt wird, welches mit Eisen legiert die bekannten Reibzünder liefert. Das eiserne Gefäß, gleichzeitig Kathode, hat etwa die Form eines viereckigen Kastens, der sich nach oben erweitert, damit der Strom von der Kohlenanode möglichst zum Boden und nicht zu den Seitenwänden geht, da der Kasten gleichzeitig als Kathode wirkt. Geheizt wird durch die Stromwärme; man hält die Badtemperatur möglichst niedrig. Wenn der Tiegel stark glüht, so verschleißt er ziemlich rasch. Weil viel Metall in der Schmelze verloren geht, ist die Ausbeute bei diesem Verfahren im allgemeinen ziemlich schlecht. Das abgeschiedene Cermischmetall ist durch Salzreste und Karbid verunreinigt; es wird deshalb unter Kochsalz umgeschmolzen. Um die pyrophore Legierung herzustellen, trägt man in das geschmolzene Metall fein verteiltes Eisen ein und gießt dann zu dünnen Stangen.

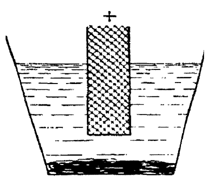


Abb. 245. Herstellung von Cermischmetall.

Beryllium. Seit einigen Jahren wird auch Beryllium durch Schmelzelektrolyse in größerem Maßstabe gewonnen und als Zusatz zu Kupfer benutzt, dessen Härte und Festigkeit dadurch

[1] Der größte Teil des gewonnenen metallischen Natriums wird gleich weiter verarbeitet. Das sehr kräftige Sauerstoffbleichmittel Natriumperoxyd wird gewonnen, indem man Luftsauerstoff im Gegenstrom über erhitztes Natrium leitet. Durch Erhitzen mit Ammoniakgas wird das Natrium in Natriumamid verwandelt, welches besonders zur Herstellung von künstlichem Indigo dient, ferner durch Erhitzen mit Kohle das in der Metallurgie viel gebrauchte Zyannatrium bildet.

sehr [illegible] wird. Besonders wertvoll scheint die Eigenschaft dieser [illegible] zu sein, unzähligen Erschütterungen gut zu widerst[illegible], wie die meisten anderen Metalle, dabei allmählich [illegible] zu werden. Das von der Siemens & Halske AG. ausgearbeitete Verfahren der Berylliumgewinnung benutzt als Elektrolyten ein Gemisch von Berylliumoxyfluorid und Bariumfluorid. Anode ist ein Graphittiegel, der von außen durch Kohlegrieß als elektrischen Widerstand geheizt wird, Kathode ein hohler Eisenstab, der von innen mit Wasser gekühlt wird. Die Oberkante des Graphittiegels wird durch einen

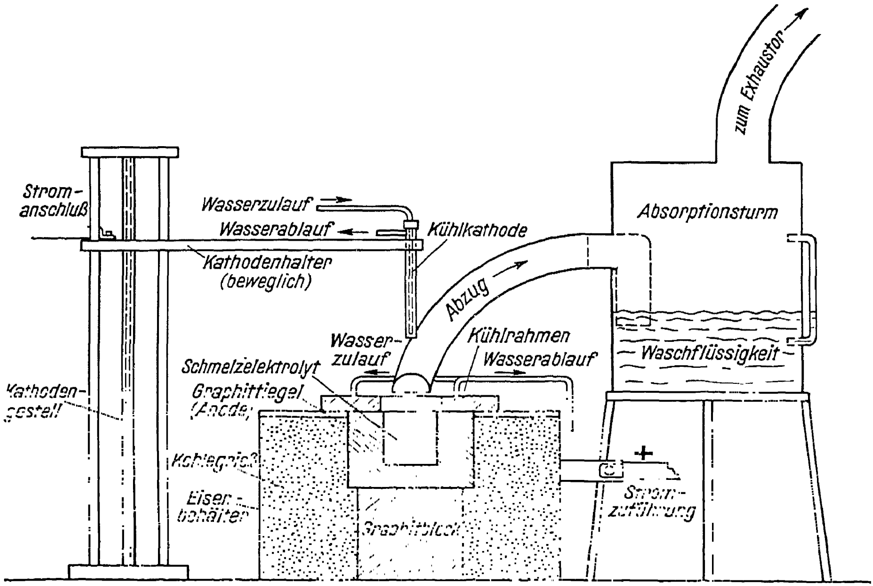


Abb. 246. Berylliumbad von S. & H.

verchromten Kühlring gegen Luftabbrand geschützt. Innen ist der Kühlring durch eine Schicht aus festem Bariumfluorid gegen das Bad isoliert. Weil aber die Kohlenanode ebenso wie bei der Aluminiumgewinnung an der elektrolytischen Umsetzung teilnimmt, so ist nach mehreren Tagen der Tiegel verbraucht.

Zum Anheizen wird der Tiegel mit Koksstücken gefüllt und mit Hilfe einer aufgepreßten Graphitelektrode durch den Strom auf Rotglut erhitzt. Dann wird der Koks herausgeholt, der Tiegel durch Einblasen von Preßluft gesäubert, nun ein leichter schmelzendes Fluoridgemisch eingetragen und durch Einsenken der Eisenkathode die Elektrolyse begonnen. Nachdem helle Rotglut erreicht ist, wird eine genügende Menge Bariumfluorid und Berylliumoxyfluorid eingebracht, die Hitze auf 1400° gesteigert und die Kathode, an welcher sich Schlacke und

wenig Metall angesetzt hat, durch eine frische Kathode ersetzt. Im Maße, als sich Metall an der nur eben in die Schmelze eintauchenden Kathode abscheidet; wird diese „Berührungskathode“ etwas gehoben; der an ihr haftende Metalltropfen erstarrt und unten setzt sich neues Metall an. Indem man so fortfährt, erhält man Stangen von Beryllium. Nach etwa 18—24 Stunden wird die Elektrolyse abgebrochen. Abb. 246 zeigt ein Schema des Berylliumbades von Siemens & Halske.

Dreizehntes Kapitel.

Die Verwendung der Kohlenelektroden bei der Elektrolyse wässriger Lösungen.

Elektrometallurgie. In der Elektrometallurgie wässeriger Lösungen wird die Kohle als Anodenmaterial nur in wenigen Fällen verwendet. Bei der Raffination, der Gewinnung reiner Metalle aus unreinen, besteht die Anode aus dem betreffenden unreinen Metall; bei der Elektrolyse fallen die Verunreinigungen teils als Anodenschlamm zu Boden, teils gehen sie in die Lösung über und verbleiben dort, solange sie nicht überhand nehmen; an der Kathode scheidet sich das betreffende Metall in höchster Reinheit ab, falls die Bedingungen der Elektrolyse richtig innegehalten werden. Bei der elektrolytischen Abscheidung von Metallen aus Erzlaugen wird dagegen eine unlösliche Anode benutzt und hier kann man für die Kupferabscheidung Kohlenanoden verwenden, wenn man sie durch einen Kunstgriff schützt, nämlich in dem eisenhaltigen Elektrolyten den Gehalt an Eisenoxydulsulfat durch Einleiten von schwefliger Säure niedrig hält; dann werden Anoden aus Elektrographit wenig angegriffen. Für die Stromzufuhr werden sie oben verkupfert, mit Blei umschmolzen und mit Asphaltlack geschützt.

Bei der Silberraffination nach Balbach und Thum werden Graphitplatten als Kathoden verwendet. Sie liegen auf dem Boden der flachen Steinzeugwannen; die Anoden aus Rohsilber ruhen darüber auf einem mit Musselin bespannten Rost. Das Silber scheidet sich auf den Graphitplatten in losen Kristallen ab und wird von Zeit zu Zeit herausgeschaufelt.

Chloralkali-Elektrolyse. Eine sehr wichtige und umfangreiche Verwendung finden Elektroden aus Graphit bei Chloralkali-Elektrolyse. Wenn man eine Kochsalzlösung durch den elektrischen Strom zerlegt, so bildet sich an der Kathode Natronlauge, an der Anode entwickelt sich Chlorgas. Um beide Stoffe getrennt zu erhalten, muß man den Kathodenraum vom Anodenraum durch eine Scheidewand trennen, welche ein Hinüberwandern des freien Alkali (der Hydroxylionen OH') zum Chlor hindert, aber dem Strom selber möglichst geringen Wider-

stan[illegible]em gebraucht man den Kunstgriff, die Flüssigkeit [illegible] durch das Diaphragma zur Kathode mit einer Ge-[illegible]eit strömen zu lassen, welche der Geschwindigkeit gleich ist, mi[illegible]ner die OH'-Ionen im Stromgefälle zur Anode wandern. Von [illegible] vielen diesem Zwecke dienenden Anordnungen will ich zwei der wichtigsten beschreiben, die Nelsonzelle und die Siemens-Billiterzelle; diese verwendet ein waagerechtes, jene ein senkrechtes Diaphragma. In der Nelsonzelle (Abb. 247) sind als Anoden 14 viereckige Stäbe aus Achesongraphit in einer Reihe angeordnet. Schmalwände und Boden des Anodenraumes sind mit Zement ausgekleidet. Der Deckel besteht aus Schiefer; aus ihm ragen die Köpfe der runden Graphitstäbe, an welche unten die Anoden angeschraubt sind. Die Seitenwände des

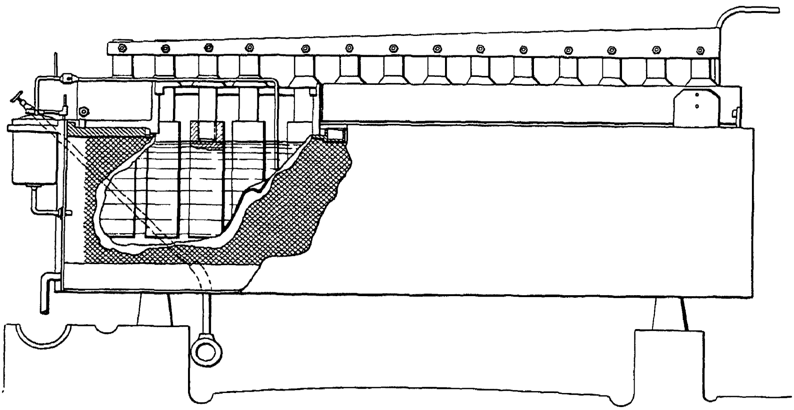


Abb. 247. Nelson-Zelle.

Anodenraumes werden durch gelochtes Stahlblech gebildet, welches gleichzeitig die Kathode darstellt und innen das aus Asbesttuch und Asbestpapier gebildete Diaphragma trägt. Die Außenwand der Zelle besteht aus dickem Stahlblech. Die Salzlösung wird stetig auf der einen Stirnseite dem Anodenraum zugeführt. Aus dem Kathodenraum tropft die Lauge in eine Sammelrinne; das Chlorgas wird auf der anderen Seite oben abgeleitet. Den Anoden wird der elektrische Strom durch eine gemeinsame Schiene zugeführt, deren Querschnitt entsprechend der verminderten Strombelastung nach dem Ende zu kleiner wird.

Abb. 248 zeigt schematisch die Siemens-Billiterzelle. In dem Badgefäß, welches aus Eisenblech mit Betonauskleidung besteht, ist einige Zentimeter über dem Boden ein starkes Eisendrahtnetz ausgespannt, welches das Diaphragma trägt und gleichzeitig als Kathode dient. Darüber werden die waagerechten Anodenplatten von eingeschraubten Graphitstäben getragen, welche durch den Deckel geführt sind. Das Diaphragma besteht aus einem Asbesttuch, auf welches ein Brei von

Schwerspat und Asbest aufgebracht ist. Die Salzlösung fließt über den Anodenplatten zu und tropft durch das Diaphragma in den Kathodenraum, aus welchem sie durch ein gekrümmtes Rohr am Boden ständig abgeführt wird. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Salzlösung zufließt, ist so bemessen, daß die Trennungsfläche zwischen der sauren Anodenflüssigkeit und der stark alkalischen Kathodenflüssigkeit etwas oberhalb des Diaphragmas stehen bleibt. Auf diese Weise wird der Asbest vor dem Angriff durch Säure geschützt und zugleich verhütet, daß Hydroxylionen zu der Anode hinaufdiffundieren. Das Chlor nämlich greift die Anodenkohle nicht wesentlich an, wohl aber der bei der Entladung von Hydroxylionen entstehende Sauerstoff. Das im Anodenraum entwickelte Chlorgas wird oben abgesogen; der im Kathodenraum

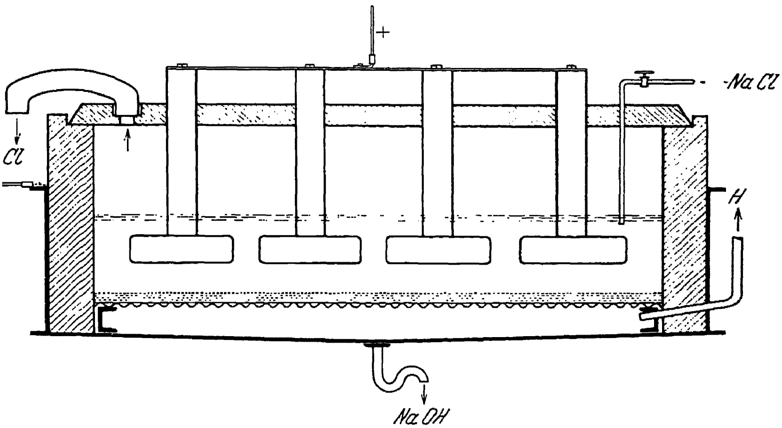


Abb. 248. Siemens-Billiter-Zelle.

entwickelte Wasserstoff wird seitlich abgeführt. Durch die Stromwärme (Joulesche Wärme) wird das Bad auf 85—90° erhitzt[1]. Die anodische Stromdichte war früher etwa 5 A/dm²; heute belastet man vielfach bis 10 A. Abb. 249 zeigt in einer Zelle, von welcher der Deckel abgehoben ist, die Anordnung der Anoden.

Während in den beschriebenen Diaphragmenzellen die Graphitanoden jahrelang halten können, werden sie in Zellen, in denen das Diaphragma fehlt, rascher angegriffen, und zwar um so rascher, je geringer die Konzentration der Salzlösung, je höher die Temperatur und je größer die Strombelastung ist. Indessen verwendet man auch hier bei den sogenannten Bleichelektrolyseuren Graphitelektroden als Ersatz für das zwar unangreifbare, aber sehr teure Platin. Abb. 250 zeigt als Beispiel den Bleichelektrolyseur, System Haas und Dr. Oettel, in

[1] Die hohe Temperatur bedeutet eine wesentliche Stromersparnis, weil die heiße Lösung viel besser leitet als bei Zimmerwärme.

welches durch die Umsetzung der kathodischen Natronlauge mit dem anodischen Chlor Natriumhypochlorit gebildet wird[1]. Der abgebildete Bleichelektrolyseur besteht aus einem Steinzeugkasten mit senkrechten Rillen in seinen Längswänden. In diese Rillen sind eine Reihe von Graphitplatten eingeschoben. Von ihnen sind die erste und die letzte Platte mit den Polen der Stromquelle verbunden; die zwischen ihnen stehenden Platten wirken auf der einen Seite als Kathode, auf ihrer anderen Seite als Anode. Jede der durch die Kohleplatten gebildeten schmalen Kammern hat unten eine Öffnung. Der Kasten ist in eine größere Wanne gesetzt; zu seinen Seiten befinden sich Kühlschlangen

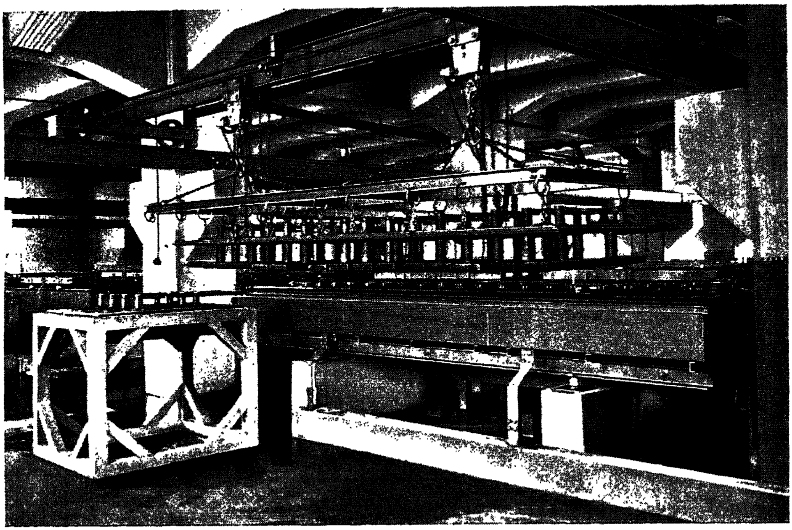


Abb. 249. Siemens-Billiter-Zelle (Deckel hochgehoben).

aus Hartblei. Der sich in den schmalen Kammern entwickelnde Wasserstoff hebt den Elektrolyten als Schaum empor; oben fließt die Lauge aus einem Überlauf in einer Rinne wieder in die Wanne. Auf diese sehr einfache Weise wird der Elektrolyt sehr wirksam durch die Elektrodenkammern im Kreislauf geführt und dabei gekühlt; dies ist nötig, um eine leidliche Ausbeute an Natriumhypochlorit zu erzielen. Wenn man nämlich mit warmem Elektrolyten arbeitet, so wird dadurch die Entstehung von Chlorat begünstigt, welches auch in der Kälte entsteht,

[1] Natriumhypochloritlösung ist ein starkes Bleichmittel, ebenso wie das den wirksamen Bestandteil des Chlorkalkes bildende Kalziumhypochlorit. Vor dem Chlorkalk besitzt es den Vorzug, daß seine klare Lösung keine festen Teilchen des Bleichmittels enthält, welche bei unvorsichtiger Handhabung von Chlorkalk Löcher in das Gewebe fressen.

sobald die Konzentration des Hypochlorits eine gewisse Grenze erreicht hat. Auch bei der Chloratherstellung verwendet man als Anoden teilweise Graphit. Wenn man die Badwärme unter 40° hält und nicht zu hoch mit Strom belastet, halten sie längere Zeit.

Ansprüche an die Anodenkohle. Für die Verwendung bei der Chloralkali-Elektrolyse soll die graphitierte Kohle eine möglichst geringe durchschnittliche Porosität besitzen. Vor allem soll das Gefüge ganz gleichförmig und frei von Rissen sein, damit die Anoden sich gleichmäßig und allmählich abnutzen. Abb. 251 zeigt die tief ausgefressene Kante einer Anodenplatte, die schlecht graphitiert war; Abb. 252 zeigt, wie hier das Gewinde ganz zerstört wurde. Die scheinbare Dichte des Elektrographits soll bei 1,6 und sein spezifischer Widerstand zwischen 8 und 10 Ohm (bezogen auf 1 m Länge und mm² Querschnitt), der Aschengehalt unter 1% liegen. Die Asche besteht hauptsächlich aus Siliziumkarbid und Eisenoxyd, welche beim Abkühlen im Graphitierungsofen in die Kohle wieder ein wenig hineingelangen. Ein geringer Schwefelgehalt läßt sich nicht ganz vermeiden, weil Kohlen, welche als Rohstoff für die Graphitierung in Frage kommen, stets Schwefel enthalten.

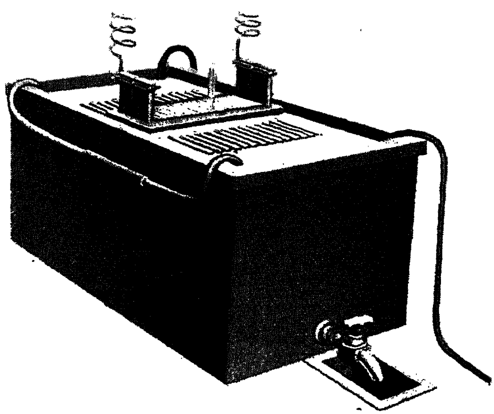


Abb. 250. Bleichelektrolyseur.

Behandlung der Anodenkohlen. Im Gegensatz zu der nicht graphitierten Elektrodenkohle, bei welcher besonders die durch Verkoken des Bindemittels entstandenen Teile des Gefüges rasch angegriffen werden und dadurch den Zerfall der Elektrode beschleunigen, widerstehen gut graphitierte Platten der anodischen Oxydation in durchaus befriedigendem Maße. Vorbedingung für genügende Haltbarkeit ist allerdings auch die richtige Behandlung der Elektroden. Vor der Verwendung müssen die Elektroden trocken und vor Schmutz geschützt lagern. Die Gewinde und Kontaktflächen müssen genau bearbeitet sein. Damit an den Kontaktflächen, wo der Strom den die Anoden tragenden Stäben durch angeschraubte Schellen zugeführt wird, der Übergangswiderstand möglichst klein ist, müssen die Berührungsflächen genügend groß und vor allem peinlich sauber sein. Weil die Graphitstäbe, um das Emporsteigen der Lösung zu hindern, am Kopfe meist paraffiniert sind,

Paraffin aber den Strom sehr schlecht leitet, so muß an dem Kontakt das Paraffin sorgfältig von der Oberfläche entfernt sein, etwa durch Abreiben mit einem Lappen, der mit Benzol getränkt ist; auch die metallenen Schellen sind an der Berührungsfläche peinlich sauber zu halten, weil schon eine dünne Oxydhaut den Stromübergang hemmt. Weil trotz aller Vorsicht allmählich Spuren von Chlor an die Kontaktstellen gelangen und das Metall angreifen, so muß man die Kontakte

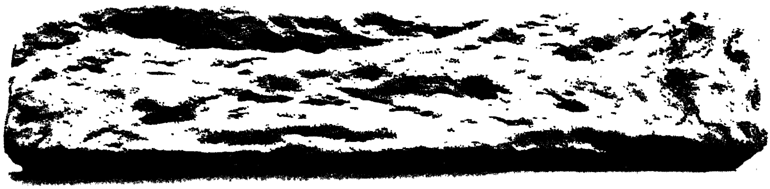


Abb. 251. Tief angefressene Kante einer Anode.

von Zeit zu Zeit reinigen und die Schrauben nachziehen. Zur Überwachung soll man regelmäßig die Badspannung und die Spannung an den Übergangsstellen der Zuleitung messen und auch geringe Verschlechterungen sofort beseitigen. Versäumt man diese Vorsicht, so wird man beim Öffnen der Zelle die fehlerhaften Kontakte an dem ungleichen Verschleiß der Platten nachträglich erkennen; denn naturgemäß werden



Abb. 252. Zerfressenes Gewinde einer Anode.

die Platten, deren Kontakt schlechter ist, weniger Strom empfangen und die anderen Platten derselben Zelle entsprechend überlastet sein.

Bei dem Zusammenbau der Zellen muß man dafür sorgen, daß die wirksamen Flächen der Anoden von dem Diaphragma und der Kathode genau gleich entfernt sind. Die wirksamen Anodenflächen in einer Zelle müssen unbedingt in einer Ebene liegen parallel zum Diaphragma und zur Kathode. Jede hervorstehende Platte wird nämlich stärker angegriffen, weil entsprechend der geringeren Entfernung von der Kathode der Widerstand des Elektrloyten an dieser Stelle geringer ist, dementsprechend mehr Strom diesen bequemeren Weg einschlägt und die

hervorstehende Platte stärker als die weiter zurückstehenden Platten abnutzt.

Auch das Diaphragma soll möglichst eben sein und überall gleichen Abstand von den Anoden haben. Die Salzlösung muß im ganzen Querschnitt der Zelle durch das Diaphragma vollkommen gleichmäßig fließen. Durch Beulen und Ausbauchungen kann der gleichmäßige Durchlauf der Lösung gestört und ihr Gehalt verschlechtert werden. In den etwa vorhandenen Vertiefungen eines waagerechten Diaphragmas setzt sich zuerst der Schlamm ab, welcher von Verunreinigungen der Salzlösung oder von den Elektroden stammt; er verstopft an diesen Stellen häufig das Diaphragma. Dann ist an den anderen der Anode näher liegenden Teilen des Diaphragmas und der Kathode die Elektrolyse lebhafter und es kann an einzelnen Stellen der Gehalt der Salzlösung so stark sinken, daß an der Anode statt Chlor Sauerstoff entwickelt wird und die Anode stark angreift. Unter allen Umständen muß verhindert werden, daß durch verschlechterte Durchlässigkeit des Diaphragmas oder auch durch ungleichmäßigen Zufluß der Salzlösung die alkalische Schicht, deren Grenze sich dicht über dem Diaphragma halten soll, zu weit emporsteigt und in die Nähe der Anoden gelangt. Dann bildet sich nämlich Hypochlorit und greift den Graphit stark an. Die Salzlösung muß vor der Verwendung von der Verunreinigung durch Sulfate befreit werden, indem man diese durch Zusatz vom Bariumchlorid als unlösliches Bariumsulfat sorgfältig ausfällt. Kalk, Magnesia, Tonerde und Eisenoxyd, welche als Verunreinigung in der Salzlösung bleiben, scheiden sich während der Elektrolyse aus, sobald sie in das alkalische Gebiet gelangen, verschlammen die Bäder und verstopfen das Diaphragma. Sie müssen daher gleichfalls vorher entfernt werden, was in bekannter Weise ohne Schwierigkeiten geschieht. Besonders gefährlich ist aber das Sulfat, weil bei der Entladung der Sulfationen an der Anode der den Kohlen gefährliche Sauerstoff frei wird.

Der Gehalt der den Bädern zugeleiteten Salzlösung soll gleichmäßig und nicht zu gering sein. Trotzdem bilden sich im Laufe der Zeit stets kleine Unregelmäßigkeiten bei einer größeren Anzahl von Bädern zwischen den einzelnen Zellen aus, weil der Durchfluß niemals vollkommen gleichmäßig ist. In den Bädern mit weniger gutem Durchfluß wird im allgemeinen der Elektrodenverbrauch größer sein. Dieser Unterschied wird aber um so stärker hervortreten, je mehr man an dem Salzgehalt der zufließenden Lösung zu sparen sucht.

Abträgig ist den Graphitelektroden auch eine stark schwankende Belastung der Zellen. Am besten ist es, wenn ihnen dauernd die gleiche Strommenge zugeführt wird.

Das Tränken der Elektrolysekohlen. In der Annahme, daß die Lebensdauer der Anodenkohle verlängert wird, wenn man durch

Schließen der Poren die Berührungsfläche zwischen Kohle und Elektrolyt verkleinert, hat man schon seit langem in einzelnen Betrieben die Platten mit gewissen Stoffen getränkt. Erste Vorbedingung für eine wirksame Tränkung sind vollkommen trockene Platten; denn jeder Wassergehalt und besonders ein von Platte zu Platte wechselnder Gehalt an Feuchtigkeit erschwert eine gleichmäßige Tränkung. Ungleichmäßig getränkte Platten werden auch eine verschiedene Lebensdauer zeigen. Unter anderen hat U. Pomilio[1] die graphitierten Kohlen mit Naphthalin getränkt und nach seiner Angabe dadurch die Abnutzung verringert.

Auf meine Veranlassung hat vor einigen Jahren Dipl.-Ing. Werner Schade eine Reihe von Tränkungsversuchen durchgeführt und zwar mit Paraffin, Naphthalin, Chlornaphthalin, Steinkohlenteer, „Magnisol“ der Rütgerswerke, zwei Asphaltsorten „Mexasphalt“ und „Panmex“ der Johannes Jeserich AG. und schließlich Seifenlösung nach DRP. 407987 der Koholyt AG.[2]. Die Anoden bestanden aus einer bestimmten Sorte Elektrographit von der auf S. 169 angegebenen Gestalt und Größe. Die Platten besaßen eine Porosität von 20% und waren zu 74% graphitiert. Ihr Aschengehalt betrug 0,16% und setzte sich folgendermaßen zusammen:

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO
0,04	0,06	0,02	0,03	0,01%

Elektrolysiert wurde in einer Lösung von 200 g Natriumchlorid unter Zusatz von 2 g Natriumchromat im Liter bei 60° mit einer Stromdichte von 10 A/dm². Die Elektrolyse wurde nach je 131 Ah unterbrochen. Nach gehörigem Auswaschen und Trocknen wurde der Gewichtsverlust der Platten, das Gewicht des von den Platten abgefallenen Schlammes und sein in Benzol unlöslicher Anteil bestimmt.

Zunächst teile ich in Zahlentafel 29 die Ergebnisse mit ungetränkten Platten mit.

Zahlentafel 29. Ungetränkte Graphitanode.

	Gesamtverlust g	Abfall g	G—A g
Nach 151 Ah	1,0	0,5	0,5
Nach den zweiten 151 Ah	5,5	2,3	3,2
Nach den dritten 151 Ah	4,4	2,0	2,4
Nach 453 Ah	10,9	4,8	6,1
Vom Anfangsgewicht . . .	17,4%	8,4%	9,0%

Zur Tränkung mit Paraffin wurde Paraffin mit einem Schmelz-

[1] G. chim. ind. appl. Bd. 7 (1925) S. 63.

[2] Von anderen Tränkungsstoffen seien genannt: Bakelit oder Zellulose oder Nitrozellulose (französisches Patent 567925). Das Überziehen mit einem Lack aus Cumaron- und Paracumaronharzen hat sich der große Erfinder Thomas Alva Edison schützen lassen (amerikanisches Patent 1364359).

punkt von etwa 59° auf 90° erhitzt. Die damit vollgesogene und nach dem Erkalten oberflächlich von Paraffin befreite Platte hatte an Gewicht um 6,7 g zugenommen. Die Ergebnisse der Elektrolyse zeigte Zahlentafel 30.

Zahlentafel 30. Tränkung mit Paraffin.

	Gesamtverlust g	Abfall g	Davon in Benzol unlöslich g	G—A g
Nach 151 Ah	10,5	10,4	2,4	0,1
Nach den zweiten 151 Ah	1,4	1,0	0,4	0,4
Nach den dritten 151 Ah	3,0	1,4	1,1	1,6
Nach 453 Ah	14,9	12,8	2,8	2,1

Wenn man von dem Gesamtverlust 14,9 g das Gewicht des aufgenommenen Paraffins 6,7 g abzieht, so verbleibt ein Verlust von 8,2 g, während die ungetränkte Platte unter den gleichen Umständen 10,9 g verloren hatte.

Mit geschmolzenem Naphthalin wurden die Versuchsplatten bei 100° eine Stunde lang getränkt. Von dem an der Oberfläche haftenden Naphthalin wurden sie nachher durch Abschmirgeln befreit. Das Gewicht hatte um 8,6 g zugenommen; bei der Dichte 1,154 des Naphthalins berechnete sich aus dem Porenraum eine Gewichtszunahme von 8 g. Es sind also anscheinend alle Poren mit Naphthalin gefüllt worden. Zahlentafel 31 enthält die Ergebnisse der Elektrolyse.

Zahlentafel 31. Tränkung mit Naphthalin.

	Gesamtverlust g	Abfall g	Davon in Benzol unlöslich g	G—A g
Nach 151 Ah	13,6	6,2	3,0	7,4
Nach den zweiten 151 Ah	1,5	0,9	0,3	0,6
Nach den dritten 151 Ah	2,0	1,0	0,8	0,8
Nach 453 Ah	17,1	8,3	4,1	8,8

Zieht man von dem Verlust während der ersten 151 Ah die Menge des in Benzol unlöslichen Abfalles ab, so verbleiben 8,5 g; anscheinend ist also schon in den ersten 151 Ah fast alles Naphthalin durch die Elektrolyse aus den Platten herausgeholt worden. Dies kann damit zusammenhängen, daß vom anodischen Chlor das Naphthalin chloriert wird.

Um diese Chlorierung schon vorher zu besorgen, wurde in geschmolzenes Naphthalin solange Chlor eingeleitet, bis das Gewicht nur noch sehr langsam zunahm; hierbei entwickelte sich reichlich Chlorwasserstoff und das Naphthalin nahm an Gewicht um 7% zu. Als Steinkohlenteer in der gleichen Weise behandelt wurde, entwickelte sich sehr

wenig [illegible] stoff und das Gewicht stieg um 28%. Das Chlorieren von M[illegible] gab unter ebenfalls sehr geringer Entwicklung von Chlorwasserstoff sogar eine Gewichtszunahme von 64%. Die beiden Asphaltsorten Mexasphalt und Panmex vermehrten ihr Gewicht um 15% und 11%, wobei sich gar kein Chlorwasserstoff entwickelte. Die folgende Zahlentafel 32 gibt für die verschiedenen Stoffe die Tränkungstemperatur und die Gewichtszunahme der Platten.

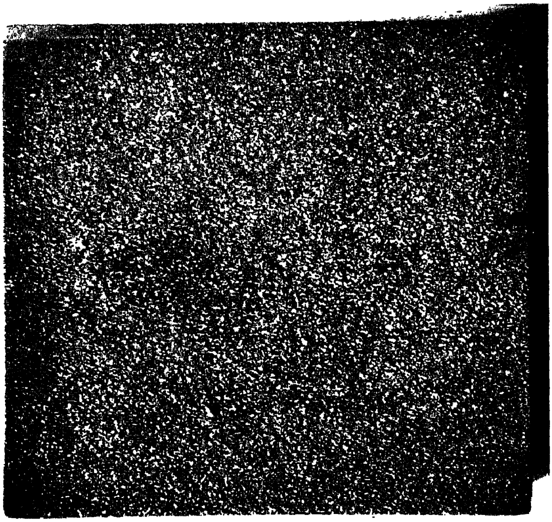


Abb. 253. Mit Panmex getränkte Graphitanode nach 151 Ah bei 60°.

Die nebenstehende Zahlentafel 33 bringt schließlich das Gesamtergebnis aller unserer Tränkungsversuche.

Am besten haben sich also Steinkohlenteer, Magnisol, Mexasphalt und Panmex bewährt. Daß Chlornaphthalin sich als so ungeeignet erwies, mag ebenso wie beim Paraffin mit dem niedrigen Schmelzpunkt zusammenhängen, weil sie bei der Elektrolysentemperatur 60° schon zu dünnflüssig sind. Die Seifenlösung hat sich ebenfalls als nützlich erwiesen. Keine dieser Tränkungen

Zahlentafel 32.

	Tränkungs-temperatur °	Gewichts-zunahme g
Paraffin	90	6,7
Naphthalin . . .	100	8,6
Chlornaphthalin .	130	15,4
Steinkohlenteer .	120	7,6
Magnisol[1] . . .	120	4,4
Mexasphalt . . .	165	7,1
Panmex	165	7,3
Seifenlösung[2] . .	—	8,7

[1] Magnisol ist bei Zimmertemperatur fest, bei 65° tropfbar flüssig. Der „Tropfpunkt" von Mexasphalt liegt bei 72°, von Panmex bei 85°.

[2] Um mit Seifenlösung zu tränken, wurde die Platte zunächst in Leinöl gelegt, das auf 120° erhitzt war. Dann wurde sie als Anode in 20%iger Natronlauge bei 60° behandelt. Hierdurch bildete sich in der Platte eine Seife.

Zahlentafel 33.

Tränkungsmittel	Gesamtverlust g	Abfall g	Unlöslich in Benzol g	Spannung Volt
Paraffin	14,9	12,8	3,9	4,2
Naphthalin	17,1	8,3	4,1	4,2
Chlornaphthalin	24,5	6,9	3,9	3,8
Steinkohlenteer	1,6	2,5	1,5	4,9
Magnisol	1,8	2,2	1,3	7,2
Mexasphalt	2,6	1,3	1,2	3,5
Panmex	3,0	1,1	1,1	3,4
Seifenlösung	5,6	2,5	1,3	3,7
Ungetränkt	10,9	4,8	—	3,7

gewährt einen vollkommenen Schutz; immerhin wird durch geeignete Imprägnierung der Angriff der Platten sehr bedeutend vermindert.

Die Betrachtung der letzten Spalte ergibt, daß die beiden Asphaltsorten die niedrigste Badspannung (gegen Ende der Elektrolyse gemessen) ergaben. Geringere Badspannung bedeutet aber eine Ersparnis an elekrischer Energie. Deshalb erscheinen auf Grund dieser Laboratoriumsversuche Mexasphalt und Panmex als besonders geeignet.



Abb. 254. Ungetränkte Graphitanode nach 151 Ah bei 60°.

Abb. 253 zeigt die Oberfläche einer mit Panmex getränkten Graphitplatte und Abb. 254 die einer ungetränkten Platte, nachdem bei 60° 151 Ah eingewirkt hatten.

Vierzehntes Kapitel.

Lichtbogen-Kohlen[1].

In der geschichtlichen Einleitung habe ich bereits (S. 5) erwähnt, daß zuerst Carré Kohlenstäbe für Bogenlampen aus einer Mischung

[1] Böhm, C. R.: Chem.-Ztg. 1916 S. 637ff. — 50 Jahre Gebr. Siemens & Co. Siemens-Z., Oktober 1922.

von [illegible] und etwas Ruß mit Sirup oder einem anderen Bindemittel [illegible]. Heute verwendet man für die besten Reinkohlen Ruß aus [illegible]oir[1]. Der Ruß darf nicht mehr als 6% Wasser und Öl enthalten [illegible] und muß, wenn nötig, vom Überschuß durch Erhitzen befreit werden. Als Bindemittel dient Teer. Ruß und Teer sollen nicht mehr als 0,02% Asche geben. Unmittelbar verwendet würde aber der Ruß wegen seiner großen Schwindung beim Brennen krumme und rissige Stäbe geben. Deshalb formt man zunächst aus einer Mischung von etwa 100 kg Ruß mit 130 kg Teer in der Blockpresse Klötze, glüht sie bei 1000—1400° und mahlt sie dann zu feinstem Pulver. Ein ausgezeichneter Rohstoff sind zerbrochene Kohlenstifte, wenn sie keine Salze enthalten und sauber geblieben sind; auch sie werden sehr fein gemahlen. Damit beim Mahlen der Rohstoffe kein Eisen hereinkommt, hat man die Rohrmühle mit Holz

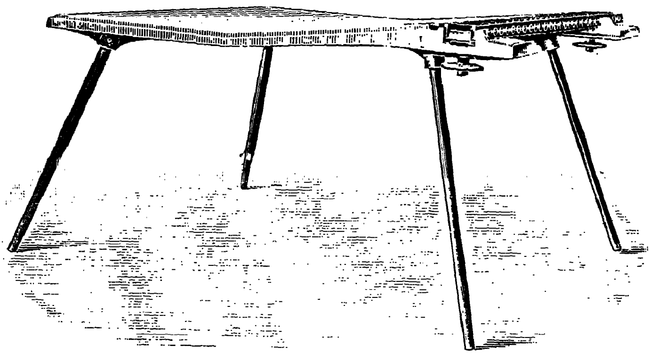


Abb. 255. Ablegetisch.

ausgekleidet, das aber nach einigen Monaten erneuert werden mußte. Gewöhnlich entfernt man die Eisenteilchen durch Magnetscheider. Man gibt zu dem Pulver so viel Steinkohlenteer, daß die Masse gut knetbar wird, verdichtet zwischen polierten Hartgußwalzen und stampft die erhaltenen flachen Kuchen, um eingeschlossene Luft zu entfernen, unter dem Fallhammer zu Ballen von etwa 30 cm Durchmesser und 40 cm Höhe. Aus diesen Ballen werden nun in der Strangpresse mit einem Druck von etwa 200—400 Atm Stäbe gespritzt. Eine gute Mischung für die besten Lichtkohlen besteht aus:

100 kg rohem Ruß,
100 kg geglühtem Ruß oder Bruch,
1 kg Borsäure,
160 kg Teer.

[1] Vor vielen Jahren sah ich bei Gebr. Siemens & Co. in Berlin-Lichtenberg eine Rußgewinnung aus zahlreichen Brennern, die mit russischem Masut gespeist wurden. Der Ruß sammelte sich auf dem Boden einer großen Halle; durch die Fenster sah ich, wie die angesammelte hohe Rußschicht von einigen schwarzen Männern geschaufelt wurde.

Die Borsäure soll eine den Lichtbogen unruhig machende Schlackenbildung verhüten. Dünnere Kohlen brauchen weniger Teer; auch wenn man in der Wärme bei etwa 80° formt, kommt man mit weniger Teer aus.

Für billigere Sorten von Lichtkohlen wird der Ruß zum Teil durch Petrolkoks und Retortenkohle ersetzt. Wegen des höheren Aschengehaltes geben diese Rohstoffe mehr Asche und eignen sich wegen der unverbrannten Rückstände nicht für Innenbeleuchtung, dagegen ganz gut für Straßen, Bahnhöfe, Hafenanlagen und Bergwerke. Von der Retortenkohle wählt man den grauen Schalengraphit aus (vgl. S. 37). Neben der Billigkeit bieten diese Kohlen den Vorteil, daß sie langsamer

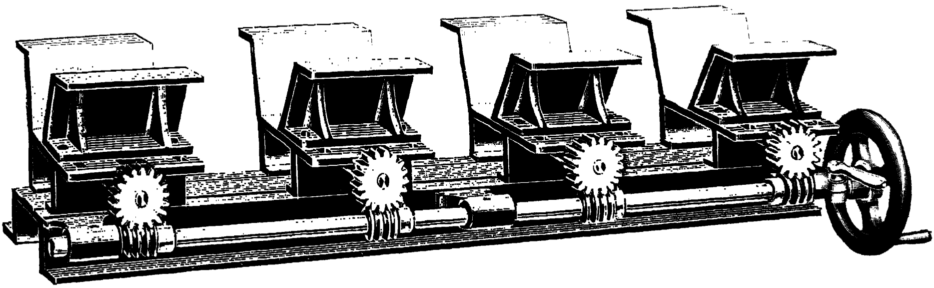


Abb. 256. Bindetische.

abbrennen. Besonders in Amerika werden die Koks-Lichtkohlen viel verwendet. Eine gute Vorschrift lautet:

100 kg Kokspulver von genügender Feinheit,
100 kg Kokskohlenbruch von gleicher Feinheit,
60 kg geglühter Ruß,
40 kg roher Ruß,
3 kg Borsäure,
155 kg Teer.

Der geglühte Ruß soll durch das 300-Maschensieb, die andern Pulver durch das 100-Maschensieb gehen.

Die von dem aus der Presse kommenden Strang abgeschnittenen etwa 1 m langen Stücke rollen, sich dabei gerade streckend, auf einen Tisch (Abb. 255) herab. Dieser Rollen- und Ablegetisch hat eine gehobelte Platte und in ihr einen schmiedeeisernen Rahmen mit verstellbaren Messingrollen. Das Rollenlager wird mit zwei Spindeln so hoch eingestellt, daß die aus dem Mundstück der Presse kommenden Kohlenstäbe waagerecht herauslaufen können; von ihm rollen die Stäbe dann auf den schrägen Teil der Tischfläche und sammeln sich auf dem waagerechten Teil, wo sie von Hand auf gleiche Länge, gewöhnlich 110 cm, abgeschnitten werden. Die hohle Tischplatte kann durch Wasser gekühlt werden. Die von den Ablegetischen kommenden Stäbe werden

in d[illegible] [illegible] (Abb. 256) zu sechseckigen Bündeln von 20—30 cm D[illegible] gepackt und mit Bindfaden verschnürt. Die Bindeformen

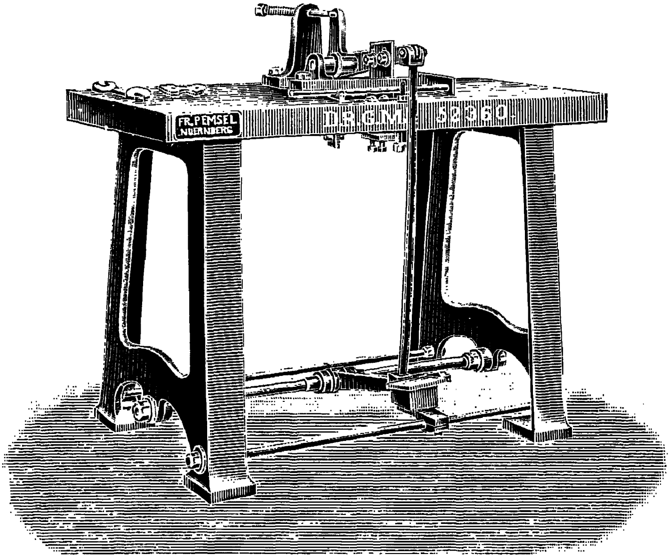


Abb. 257. Abschneidemaschine.

lassen sich je nach der Stärke der Kohlenstifte verstellen und bei den fahrbaren Tischen auch aufklappen, so daß man das fertige Bündel mit der Form aufstellen kann, was die grünen Stifte möglichst schont. Nach einigen Tagen des Lagerns werden die Bündel in Schamottetiegel[1] von etwa 30 cm innerem Durchmesser und über 1 m Höhe eingesetzt, mit Kokspulver gedeckt und im Ringofen gebrannt.

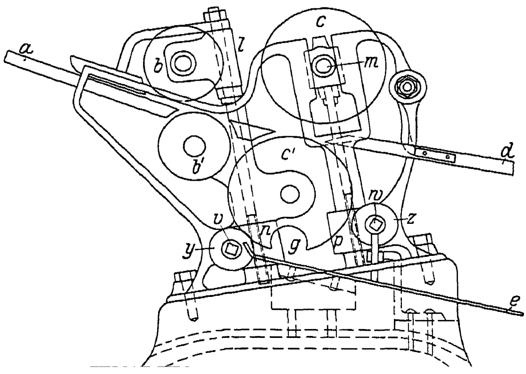


Abb. 258. Walzen-Sortiermaschine für Kohlestifte.

Die gebrannten Stäbe werden auf passende Länge abgeschnitten, indem eine Stahlschneide einen raschen Schlag auf den Kohlenstab ausübt. Mit der in Abb. 257 dargestellten Abschneidemaschine können etwa

[1] Die Schamottetiegel werden von den Kohlefabriken selbst hergestellt; man macht z. B. 30 Teile Kaolin, 20 Teile feuerfesten Ton und 50 Teile gemahlene Scherben mit Wasser an, formt und brennt bei hoher Glut.

1 m lange Kohlenstäbe von beliebigem Durchmesser auf genau gleiche Längen von 3—75 cm zerschnitten werden. In die Tischplatte der

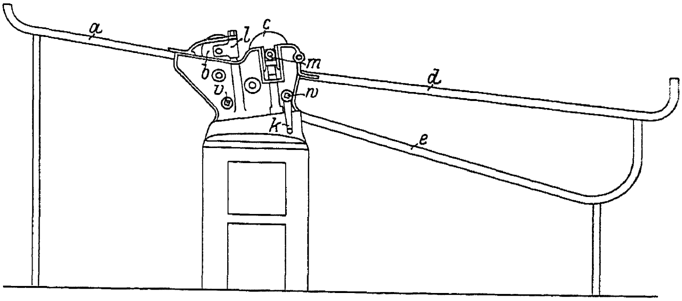


Abb. 259. Walzen-Sortiermaschine für Kohlestifte.

Maschine ist ein Maßstab eingelegt. Sie schneidet etwa 2000 Stück in der Stunde.

Nach dem Abschneiden werden die Stifte, welche sich beim Brennen etwas gekrümmt haben, in der Sortiermaschine von den tadellos

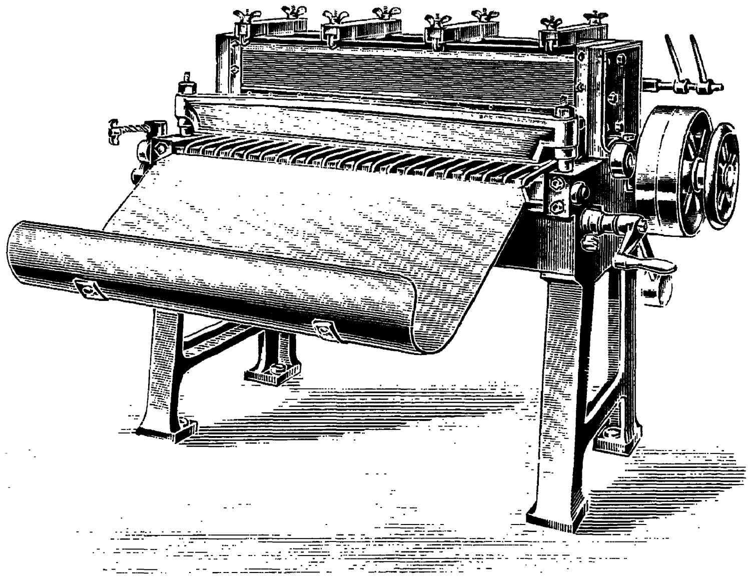


Abb. 260. Sortiermaschine für Kohlestifte.

geraden Stiften gesondert. Abb. 258 und 259 zeigen eine Walzensortiermaschine im Durchschnitt. Die durch einen Arbeiter bei *a* nebeneinander aufgelegten Kohlenstifte gelangen zunächst zwischen die beiden Walzen *b* und *b'*, welche um etwas mehr als den Durchmesser der Kohlen voneinander abstehen. Hier werden schon die stärker gekrümmten Stifte

aufg[illegible] [illegible]hoben und beiseite gelegt. Die übrigen Stifte wandern wei[illegible] [illegible]hen die Walzen c und c', welche sich langsamer bewegen [illegible] auf den Durchmesser der betreffenden Kohlen eingestellt [illegible] Hier werden die weniger stark gekrümmten Stifte aufgehalten, fallen, wenn sich die Walze c' weiter dreht, in deren Aussparung d und werden auf die schiefe Ebene e abgelegt. Nur die ganz geraden Stifte gelangen schließlich auf die schiefe Ebene d. Die Einstellung der Walzenpaare auf den richtigen Zwischenraum wird auf folgende Art bewerkstelligt. Die beiden oberen Walzen ruhen in beweglichen Lagern l und m auf den Schraubenspindeln n und p. Mit Hilfe von Zahnrädern y und z

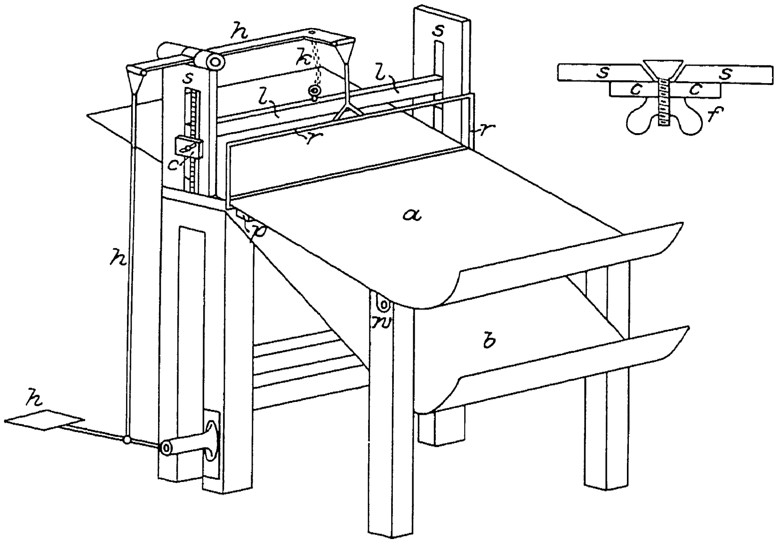


Abb. 261. Lineal-Sortiermaschine für Kohlenstifte.

können die Spindeln gehoben oder gesenkt werden, indem man die Kurbel k dreht, welche auf den Vierkant $v\,w$ der Zahnradwelle gesetzt ist. Abb. 260 zeigt eine solche Sortiermaschine in der Ansicht. Statt durch Walzenpaare kann man die geraden von den krummen Kohlen auch durch ein Lineal trennen (Abb. 261). Das Lineal l ist auf zwei mit Teilung versehenen Rahmen s verschiebbar und wird durch die beiden Stücke c, welche durch die Flügelmuttern f festgeklemmt werden, in der gewünschten Lage festgehalten. Nur die geraden Kohlen gleiten unter dem Lineal hindurch auf die Platte a, während die krummen Kohlen vor dem Lineal liegen bleiben und auf die Ebene b hinabrollen, sobald durch einen Tritt auf den Hebel h der Rahmen r mit dem Bleche a und gleich darauf durch die Kette k das Lineal b hochgehoben ist. Damit nachher Lineal und Blech von selbst wieder in ihre ursprüngliche Stellung zurücksinken, ist das Lineal l mit Blei ausgegossen und das

um die Welle w drehbare Blech trägt ein Gewicht p. Beide Arten von Sortiermaschinen haben ihre Vorzüge.

Auf das Sortieren folgt das Abschleifen der Endflächen. Bei der selbsttätigen Schleifmaschine (Abb. 262) werden die Kohlenstifte in den Kasten eingelegt, von zwei mit Aussparungen versehenen Scheiben mitgenommen, hier durch Riemen festgehalten[1] und an den beiden Schleifscheiben vorübergeführt. Die eine Scheibe läßt sich

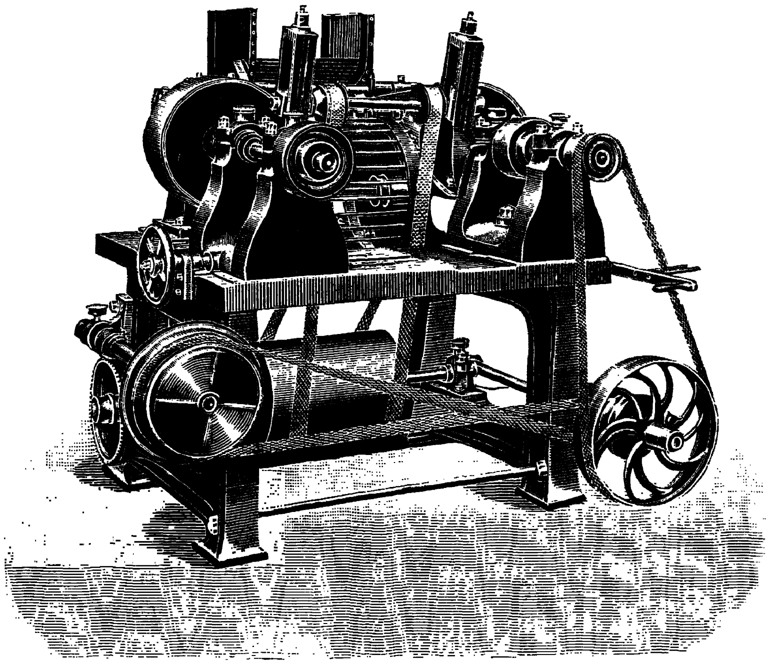


Abb. 262. Schleifmaschine für Kohlestifte (Abstoßmaschine).

mit ihrem Lager auf der Tischplatte mittels einer Schraube durch ein Handrad verschieben, damit man Kohlen verschiedener Länge abschleifen kann. Nachdem die beiden Stirnseiten der Kohlenstifte durch die beiden sich etwa 450 mal in der Minute drehenden Schleifscheiben gerade geschliffen sind, werden die Stifte auf einen schief stehenden an der Maschine angebrachten Tisch abgelegt. Die abgebildete Maschine schleift etwa 3000—4000 Stück in der Stunde bei einem Kraftverbrauch von etwa $1^1/_2$ PS.

Von hier gelangen die Stifte in die Spitzmaschine (Abb. 263) zum Anspitzen. Die Maschine führt den zu spitzenden Stift aus dem

[1] Zwei Riemenspanner halten die Riemen straff.

Kasten mittels eines durch Exzenter bewegten Schiebers unter einen endlosen Riemen zur Schleifmaschine. Der Riemen ist so gespannt, daß die Kohlen weder schief laufen noch beim Anspitzen zurückweichen können. Durch den Riemen werden die Stifte über eine schiefe Ebene gerollt, welche schräg gegen die Schleifscheibe gestellt ist, so daß die Enden der Stifte immer mehr gegen die unter ihnen sich drehende Schleifscheibe gepreßt werden[1]. Nach dem Verlassen der Schleifscheibe gelangen

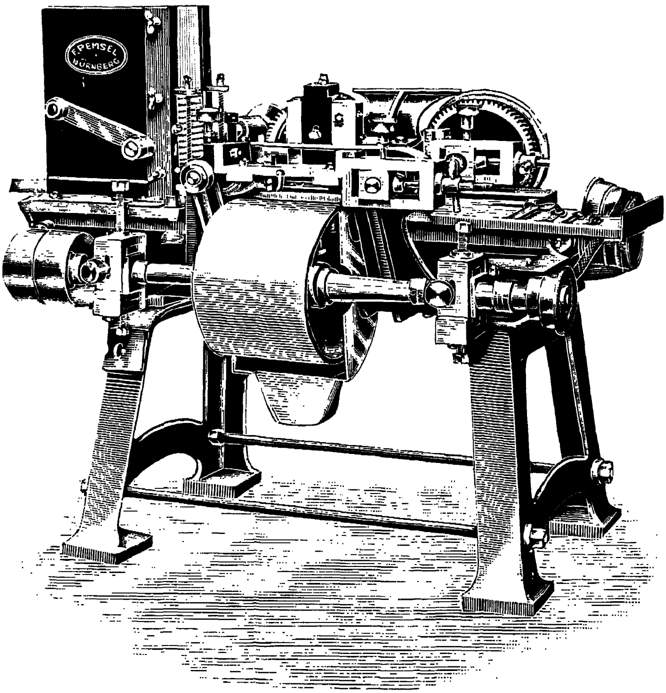


Abb. 263 Spitzmaschine für Kohlenstifte.

die gespitzten Stifte auf eine Abrollplatte. Die Maschine leistet etwa 2500—3000 Stück in der Stunde mit einem Kraftverbrauch von etwa $^3/_4$ PS. Die Schleifscheibe macht etwa 1350 Umdrehungen in der Minute. Diese Spitzmaschine wird in zwei Ausführungen für 6—20 mm dicke Stifte von 135—420 mm oder 280—750 mm Länge geliefert. Oft werden die Kohlenstifte nach dem Anspitzen noch poliert.

Beim Gebrauch wird eine aus reinem Ruß hergestellte Kohle an dem Ende, wo der Lichtbogen aufsitzt, tiefschwarz und hinterläßt, wenn man mit dem Finger darüber streicht, ein feines schwarzes Pulver.

[1] An die Stelle der Schleifscheibe kann auch eine Spitztrommel treten.

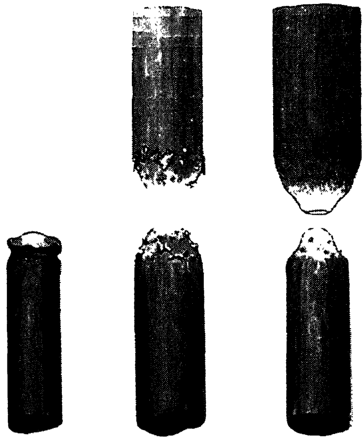
Kohlen aus Petrolkoks und Retortenkohle sehen dagegen je nach dem Zusatz von Ruß schwarz bis silbergrau aus und fühlen sich rauh an; die schwer verbrennlichen Retortenkohlenteilchen zeigen sich als silberglänzende schieferige Splitter und liegen auf der unteren Kohle nach dem Ausbrennen des verkokten Bindemittels teilweise frei.

Bei Wechselstrom nimmt man meist beide Kohlen ziemlich gleich dick; sie brennen beide flach ab, runden sich aber bei höherer Spannung. Bei Gleichstrom brennt die positive Kohle etwa doppelt so rasch ab wie die negative Kohle; man wählt deshalb hier die positive Kohle dicker oder auch länger. Die positive Kohle höhlt sich zu einem Krater aus, die negative spitzt sich zu. Bei normaler Spannung soll der Abstand zwischen der Spitze und der äußeren Begrenzung der Kraterebene $^3/_4$—1 mm groß sein. Weil von dem positiven Krater die Hauptmenge des Lichtes ausstrahlt, so sorgt man durch die richtige Bemessung und Stellung der Kohlen dafür, daß möglichst viel Licht dorthin gelangt, wohin das Licht hauptsächlich fallen soll. Bei der indirekten Beleuchtung von Räumen stellt man deshalb die positive Kohle unter die negative, damit das Licht hauptsächlich gegen die Decke gestrahlt wird, während man sonst meist die negative Kohle unter die positive setzt. Falls das Licht waagerecht geworfen werden soll, z. B. in einer Projektionslampe, so wird die positive Kohle waagerecht und die negative in einem passenden Winkel zu ihr angeordnet.

Es ist notwendig, daß die Lichtkohlen immer mit der richtigen Spannung brennen. Wenn die Spannung zu niedrig ist, wächst von der unteren Kohle ein „Pilz" in den Krater hinein; bei dem zu kurzen Lichtbogen verbrennen nämlich die übergehenden Kohleteilchen unvollständig und setzen sich als Graphit traubenförmig auf der Spitze der negativen Kohle fest; schließlich fällt der Graphitbrocken herab. Je weniger Ruß eine Kohle enthält, um so langsamer brennt sie ab, aber um so größere Reste von unverbrannter Kohle läßt sie fallen. Je dünner die Kohlen, um so größer die Lichtausbeute, aber auch um so kleiner die Brenndauer. Für jede einzelne Verwendung wählt man auf Grund der Erfahrung die günstigsten Abmessungen. Abb. 264 zeigt bei *a* die untere Kohle mit dem Pilz, bei *b* aschenreiche mit Schlackentropfen bedeckte Kohlen, bei *c* den regelrechten Abbrand guter Lichtkohlen unter Gleichstrom von normaler Spannung.

Dochtkohlen. Bei den Reinkohlen wandert der Lichtbogen gern auf den Endflächen der Kohlen. Um den unruhigen Lichtbogen an einer Stelle festzuhalten, verwendet man „Dochtkohlen", hohle Reinkohlenstifte, in welche nach dem Brennen ein Teig aus feingemahlener Stiftmasse und dicker Wasserglaslösung eingepreßt ist. Dem Lichtbogen bietet die verdampfende Dochtmasse einen Weg geringsten Widerstandes. Als Mischung wird empfohlen: 84 kg sehr fein gemahlener Kohlenbruch,

16 kg ... glas von der Dichte 1,26 (30° Bé). Böhm empfiehlt 52,5 kg feinstes Kohlenpulver (am besten Bruch von Homogenkohlen) und 41,25 kg Kaliwasserglas von 27° Bé (Dichte 1,23) das mit Ätzkali versetzt ist.



a *b* *c*

Abb. 264.

Zum Bereiten der Dochtmasse dient ein Oval-Kollergang (Abb. 265), dessen Läufer ovalen Querschnitt besitzen. Bei dem abgebildeten Kollergang von Pemsel haben die Läufer einen Durchmesser von 350 mm, eine Dicke von 150 mm und wiegen jeder etwa 120 kg; sie machen 60 Umdrehungen in der Minute.

Abb. 266 zeigt eine hydraulische Dochtpresse in Aufsicht und Seitenansicht. Das Druckwasser tritt in den Wasserzylinder *w* durch das Rohr *r* ein, schiebt den Kolben *k* in den mit Dochtmasse gefüllten Zylinder *b* und preßt durch die Mundstücke *m* mit hohlem Dorn *d* die Dochtmasse in die Kohlenrohre ein. Mit dem Hebel *h* wird der Austritt der Dochtmasse in die Mundstücke geregelt. Der Massezylinder *b* ist gegen den Wasserzylinder durch die beiden Stahlsäulen *c* versteift. Wenn er wieder mit Dochtmasse gefüllt werden soll, so steuert man zunächst durch das Ventil *v* das Druckwasser um, so daß es durch *s* vor den Kolben tritt und ihn zurückdrängt. Nachdem man nun den Vorstecker *e* aus dem gelochten Lappen *l* herausgezogen hat, dreht man den Massezylinder um die Achse *a* und füllt jetzt den Teig ein. Abb. 267 zeigt die Dochtpresse bei der Arbeit. Die Steuerung wird mit dem Fuß betätigt. Nachdem ein Stift gedochtet ist, wird, indem der Fuß vom

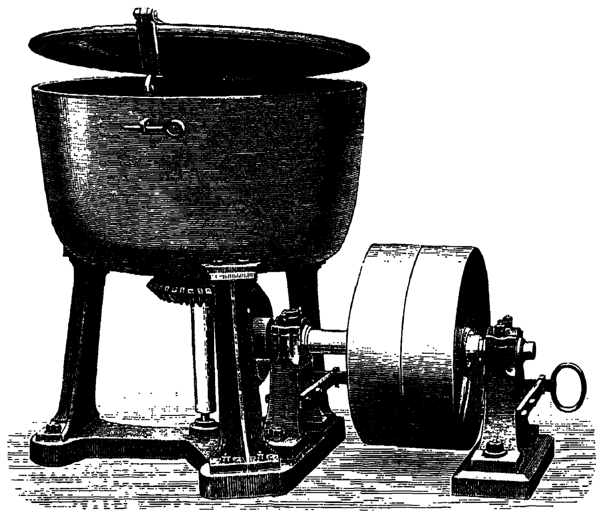


Abb. 265. Oval-Kollergang zum Bereiten der Dochtmasse.

Tritt genommen wird, der Druck auf die Masse unterbrochen; nachdem ein neuer Stift angesetzt ist, wird der Fußtritt wieder belastet und dadurch der Druck eingeschaltet. Der Preßdruck beträgt etwa 35 A. Die Presse wird in zwei Größen ausgeführt und zwar mit Wasserzylinder von 150 oder 200 mm Durchmesser.

Nach dem Dochten muß langsam getrocknet und die Temperatur sehr allmählich bis 150° gesteigert werden, damit nicht Hohlräume entstehen, welche das Bogenlicht unruhig machen würden; bei zu raschem Trocknen könnte der entweichende Wasserdampf sogar die Dochtmasse herausdrängen. Der Gehalt der Dochtmasse an Wasserglas beeinflußt

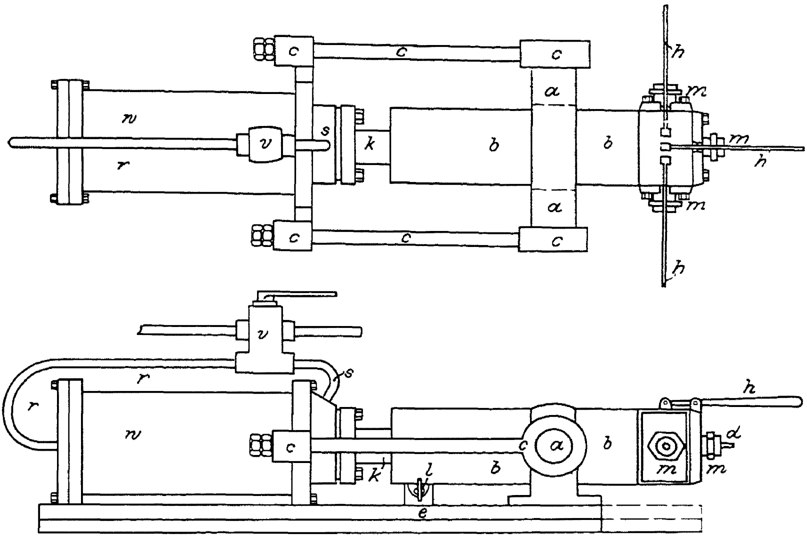


Abb. 266. Hydraulische Dochtpresse.

die Länge des Lichtbogens. Für das übliche Verhältnis zwischen Bogenlicht und Spannung werden die sogenannten Normalkohlen geliefert. Weil aber manchmal Kohlen erwünscht sind, welche die günstige Bogenlänge bei höherer oder bei tieferer Spannung liefern, so werden hierfür Hochspannungs- und Niederspannungskohlen hergestellt. Für Gleichstrom nimmt man nur als positive Kohle eine Dochtkohle, als negative aber eine Homogenkohle, weil dann das Licht ruhig ist; bei Wechselstrom verwendet man zwei Dochtkohlen.

Effektkohlen. Während an sich der Lichtbogen selber nur schwach leuchtet, kann man, wie schon Casselmann[1] 1843 feststellte, einen

[1] W. Th. Casselmann hat in Marburg als Schüler Bunsens 1843 mit einer Dissertation über die galvanische Kohlezinkkette promoviert. Aus seiner Dissertation ist ein Teil „Über einige im Kreise der Kohlezinkkette beobachtete Lichterscheinungen" in Poggendorffs Annalen Bd. 63 S. 576 (1844) erschienen. Er

stark [illegible]n Flammenbogen gewinnen, indem man leicht verdam[illegible]alze hineinbringt. Auch Carré versuchte 1876, ebenso w[illegible]om, allerlei Salze; aber das Licht war zu unruhig und seine [illegible] mißfiel. Um die Jahrhundertwende gelang es Bremer, mit seinem „Bremerlicht“ eine gewaltige Lichtfülle zu erzeugen[1]. Sein Leuchtmittel war hauptsächlich Flußspat, welcher das Licht gelb färbte.

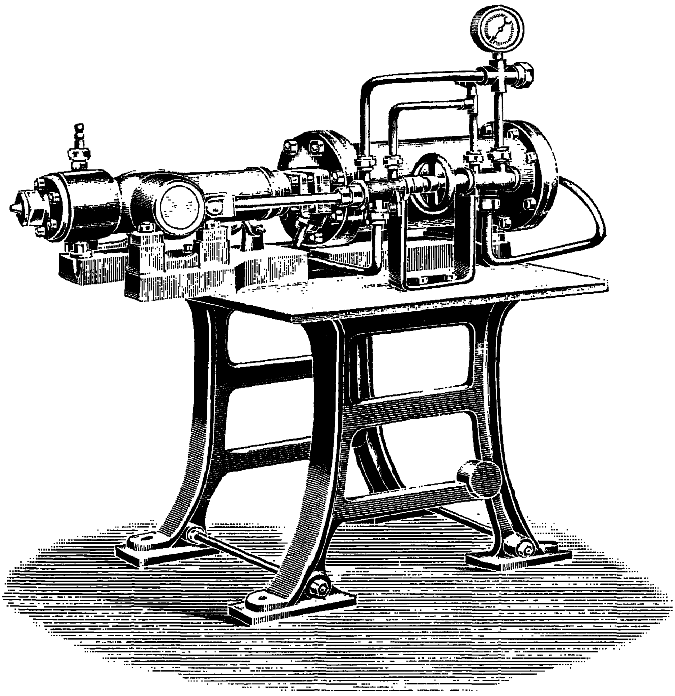


Abb. 267. Dochtpresse.

Aber es war unruhig und sehr empfindlich gegen Luftströmungen.

---

beschreibt zunächst das Aussehen des Lichtbogens, den er mit Hilfe einer Batterie von Bunsenelementen zwischen Kohlenspitzen bis einer Länge von 5 mm erzeugt, vergleicht dann die Lichtstärke des Bogens mit einer Stearinkerze und teilt mit, daß er seine Leuchtkraft vervielfachen kann, indem er die Kohlen mit einer Lösung von Strontium- oder Kupfernitrat, Chlorzink, Kochsalz, Ätzkali, Borsäure, Borax oder Natriumsulfat tränkt. Z. B. erhielt er mit Borax und Schwefelsäure bei gleicher Stromstärke etwa neunmal soviel Licht wie mit roher Kohle. Auch die magnetischen Eigenschaften des Lichtbogens hat er näher untersucht.

[1] Die erste Bremerlampe brannte 1900 am Eiffelturm; ihre in spitzem Winkel zueinander stehenden Kohlen warfen eine gewaltige Lichtfülle herab bei einem

Diesen Mangel beseitigten Siemens & Halske durch einen „Sparer“ aus feuerfestem Stoff, welcher die obere Kohle völlig, außerdem die Hälfte des Lichtbogens umgab; der Sparer hielt die Zugluft zurück, drängte die Hitze zusammen, erhöhte dadurch die Lichtausbeute und verlängerte die Brenndauer, indem er den Zutritt des Luftsauerstoffes erschwerte. Dieses Bremerlicht ist der Ursprung der „Effektkohlen“. Während das Fluorkalzium im Docht gelbes Licht gibt, wurde durch Strontiumfluorid rotes Licht erzeugt, welches für Fleischerläden erwünscht war, aber heute nicht mehr verlangt wird. Bariumfluorid gab ein kaltweißes Licht von zu geringer Leuchtkraft. Vorzugsweise werden für weißes Licht die Fluoride der Ceriterden verwendet. Später haben Gebr. Siemens die Marken „Edelweiß“ und „Schneeweiß“ herausgebracht.

Bei den Effektkohlen werden die beiden Kohlen entweder senkrecht übereinander oder nebeneinander in einer Länge bis zu 700 mm verwendet.

Zwischen Effektkohlen brennt der Bogen ziemlich unruhig; man beruhigt ihn durch einen Blasmagneten oder durch den erwähnten Sparer. Bei den Effektkohlen muß die normale Spannung sehr genau innegehalten werden; auch dann sind die Niederschläge und Rückstände naturgemäß wegen des Salzgehaltes höher als bei Reinkohlen und Dochtkohlen.

Metalladern. Bei Stiften von großer Länge wird der elektrische Widerstand des Stabes ziemlich groß, wenn man den Strom, wie üblich, am Ende zuführt. Einen Ausweg hat man, indem man durch Gleitkontakte den Strom kurz hinter dem Lichtbogen eintreten läßt. Ein anderer Ausweg, die Kohle galvanisch mit Kupfer zu umkleiden, brachte den Nachteil, daß sich an den Kohlenspitzen Perlen bilden, die glühend herabfallen und die Glasglocke zersprengen oder nach dem Erstarren die Bewegung der Kohlen hindern können. Man hat deshalb Drähte in einen Kanal neben dem Docht in die Kohle eingeführt; es haben sich nur Messing und Zink bewährt. Der etwa $^1/_2$—$^3/_4$ mm dicke Draht wird hindurchgezogen, dann angefaßt, am anderen Ende gewellt und nun richtig eingezogen; dann drückt er federnd gegen die Wandung und hat guten Kontakt. Das hinten hervorstehende Ende wird flach gewalzt, umgebogen und in den Kohlenhalter mit eingeklemmt. Man kann zur Verbesserung des Stromüberganges dieses hintere Ende des Kohlenstiftes verkupfern. Bei den Effektkohlen soll der eingelegte Draht seitlich vom

Stromverbrauch von nur 0,1 Watt je HK. Aber diese „Salzstangen“ gaben zuviel Schlacken und weißen Rauch. Rillen und Kanten der Kohlen sollten die Schlacken festhalten. Die schräge Stellung der Kohlen wird bei den Effektkohlen durch den wegen der gut leitenden Salzdämpfe viel längeren Bogen ermöglicht. Im Gegensatz zu den Fluoriden verlängern die Oxyde den Bogen nicht und leuchten in ihm nur wenig.

Licht … …amit er ihn nicht stört. Die Fabrikmarke wird auf … …ngesetzten Seite eingepreßt.

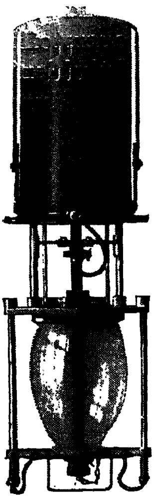


Abb. 268. Lichtpaus-Bogenlampe.

Dauerbrandlampen. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts kamen aus England und Amerika Dauerbrandlampen zu uns, bei welchen der Lichtbogen in eine dicht schließende Glasglocke eingesperrt ist. Sie geben verhältnismäßig weniger Licht, aber eine sehr lange Brenndauer. Bei Gleichstrom werden in der Dauerbrandlampe homogene Reinkohlen, bei Wechselstrom Dochtkohlen verwendet. Gebr. Siemens gelang es, auch eine Effektkohle herzustellen, welche unter Luftabschluß brannte, ohne daß die Glocke stark beschlug; diese E-Kohle gab leider ein unvorteilhaftes bläuliches Licht. Fortschritte wurden erst durch Verwendung von Bündelkohlen, dann durch die homogenen Effektkohlen We De weiß und We De gelb erzielt. Wegen des verhältnismäßig großen Durchmessers und des guten Luftabschlusses werden bis 200 Brennstunden erreicht. Der Bogen brennt ruhig und der Beschlag ist gering. Solche nur etwa 0,2 Watt je Hefnerkerze verbrauchende Dauerbrandlampen sind für Straßenbeleuchtung besonders geeignet.

Als Beispiel einer Lampe mit eingeschlossenem Lichtbogen zeige

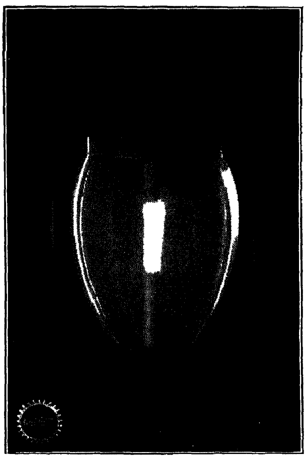


Abb. 269. Richtig brennender Lichtbogen.

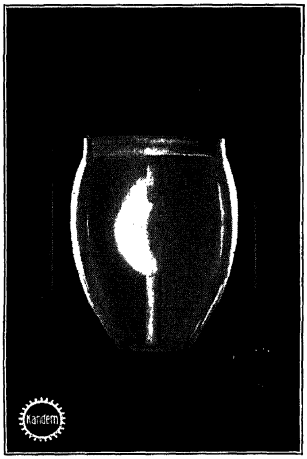
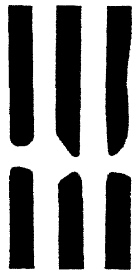


Abb. 269a. Falsch brennender Lichtbogen.

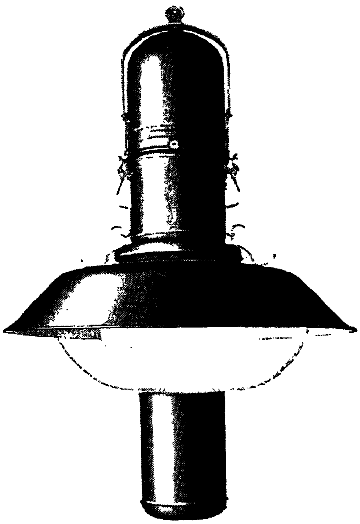
ich erstens in Abb. 268 eine Kandem-Lichtpaus-Bogenlampe. Der lange Lichtbogen brennt zwischen Reinkohlen mit 160 Volt Spannung in einer

Glasglocke und sendet ein an chemisch wirksamen Strahlen reiches blauviolettes Licht aus. Die Kohlenstifte müssen genau übereinander stehen, die Glocke sauber und durch die Teller oben und unten gut abgedichtet sein; sonst flackert der Lichtbogen und wirkt schlecht. Abb. 269 zeigt den richtig brennenden Bogen, Abb. 269 a das falsche Brennen, Abb. 270 bei *a* die richtig brennenden, bei *b* die falsch brennenden Kohlen. Die obere Kohle hat 450 mm Länge, die untere 110 mm; für Gleichstrom wird Marke E homogen, für Wechselstrom E Hochspannung verwendet. Die Brenndauer beträgt bei Gleichstrom von 10 A für 13 mm Dicke der Kohlen 25 Stunden; der Rest der oberen Kohle gibt zerschnitten zwei untere Kohlen. Mit übereinanderstehenden Effektkohlen brennt die geschlossene Dia-Carbone-Bogenlampe (Abb. 271) nahezu unter Luftabschluß 120 Stunden. Sie dient besonders zur Beleuchtung von breiten verkehrsreichen Straßen und großen Plätzen und verbraucht nur 0,2—0,3 Watt je HK. Sie wird für Stromstärken von 12—30 A bei 40 Volt gebaut; die hemisphärische Lichtstärke beträgt 1750—4200 HK. Die Kohlenstifte sind 250—345 mm lang und 18—23 mm dick.



richtig falsch brenn. Kohlen.
Abb. 270.

Mantelkohlen. Das immer steigende Verlangen nach besonders hellen Lichtquellen, welches durch die Kinoindustrie hervorgerufen wurde, ist durch die von Blondel erfundene Mantelkohle erfüllt, ein dünnwandiges Kohlenrohr mit großem Effektdocht. Weil diese Blondelkohlen mit Metallader Dämpfe entwickeln, so muß die Lampe eine Vorrichtung erhalten, welche den Rauch abführt. Zunächst könnte es zweckmäßiger erscheinen, die Stifte aus einer gleichmäßig mit Leuchtsalzen gemischten Masse zu spritzen. Aber diese hochmineralisierten Kohlenstäbe geben an sich bei mehr als 10% Leuchtsalz wegen der starken Schlackenbildung ein sehr unruhiges Licht, das manchmal ganz aussetzt. Eine gewisse Abhilfe erzielt man dadurch, daß man die äußere Schicht der Kohlen stärker preßt; dann brennt dieser Mantel langsamer ab und verhindert, daß unverbrannte Kohlenteilchen herabfallen. Bei den Mantelkohlen nach Blondel sollen der innere und der äußere Durch-


Abb. 271. Dia-Carbone-Bogenlampe (30 Amp.).

…is im Verhältnis 7:10 stehen. Für Scheinwerferkohlen …rere konzentrische Reinkohlenrohre verwendet, die zwischen sich die Leuchtmischung einschließen; als negative Kohle verwendet man Homogenkohle von einem viel kleineren Durchmesser. Die Schlackenbildung wird durch Flußmittel herabgesetzt, z. B. durch Borate der alkalischen Erden oder des Aluminiums oder der Ceriterden. Sehr nützlich ist eine kleine Menge Bariumborat. Strontiumborat färbt das Licht rötlich.

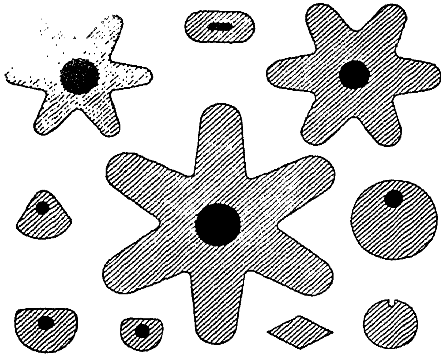


Abb. 272. Querschnitte älterer Lichtkohlen von Siemens.

Hochleistungskohlen. Für die Kino-Bildwerfer wurde 1921 die Spiegelbogenlampe eingeführt, deren Lichtfülle aber neuerdings für die farbigen Filme nicht mehr ausreicht, wenn man Reinkohlen verwendet. In Amerika benutzt man bereits seit längerer Zeit Hochleistungslampen mit rotierender positiver Kohle für 100—200 A; am meisten verbreitet sind aber dort Lampen für 70 A mit Kohlen von $^9/_8$ mm Durchmesser. Die von der Einheit der Leuchtfläche ausgestrahlte Lichtmenge, die Leuchtdichte, wird nun durch einen von H. Beck gefundenen Vorgang, den sogenannten Beckeffekt, gewaltig erhöht; Gehlhoff hat ihn für Scheinwerfer verwertet. Zu seiner Erreichung werden Effektkohlen stark mit Strom überlastet; hierdurch brennt der Docht der positiven Kohle tief aus und die entstandene Höhlung wird von Salzdämpfen ausgefüllt, deren Leuchtdichte je nach der Stromdichte 2—3 mal größer als bei Reinkohle ist. Während bei den Reinkohlen die Leuchtdichte unabhängig von der Stromstärke bei allen handelsüblichen Kohlen fast gleich und auf der Kraterfläche ziemlich gleichmäßig ist und bei genügender Belastung nach dem Rande nur wenig abfällt, steigt die Leuchtdichte bei den Hochleistungskohlen mit der

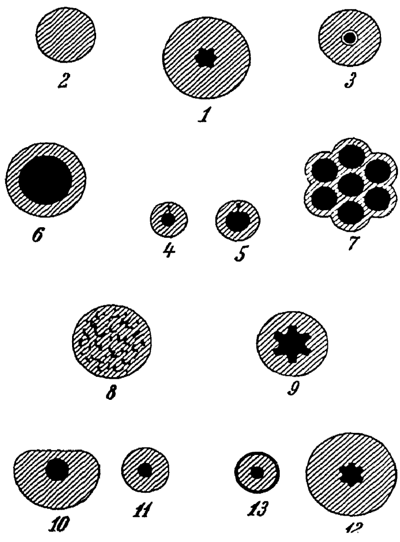


Abb. 273. Querschnitte neuerer Lichtkohlen von Siemens.

Stromdichte rasch an und ist in der Mitte des Kraters erheblich größer als am Rande, der natürlich die Leuchtdichte der Reinkohle aufweist. Versuche von Patzelt[1] zeigten für Reinkohlen von 14 mm Durch-

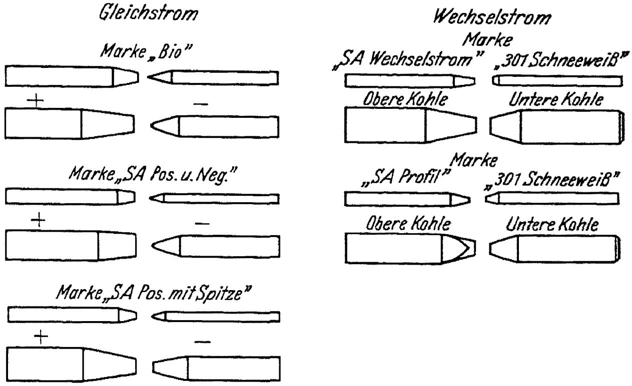


Abb. 274. Kohlen für Kino (Siemens).

messer bei 25 A und 45 Volt eine Leuchtdichte von 140 HK/mm². Beim Erhöhen der Stromstärke zischte der Bogen; die Helligkeit nahm zwar zu, weil der Krater sich verbreiterte, aber die Leuchtdichte wurde nicht wesentlich größer. Im Gegensatz hierzu lieferte die Hochleistungskohle von 11 mm Durchmesser bei 75 A und 45 Volt 357 HK/mm², ohne daß die Kraterfläche größer war. In der Lampe mit rotierender Kohle können dünne Hochleistungskohlen verhältnismäßig höher belastet werden bis zu einem Höchstwert, bei welchem das Zischen einsetzt.

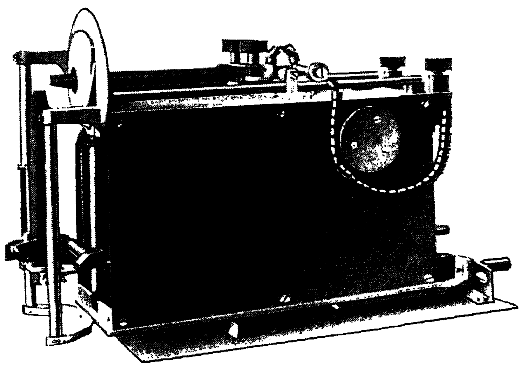


Abb. 275. Kandem-Projektions-Bogenlampe.

Bei den Versuchen wurden drei Stellungen der waagerechten Kohlen ausgeprobt; bei der Mittelstellung zielt die Achse der negativen Kohle auf die Mitte der positiven Kohle, bei der Hochstellung auf ihre Oberkante und bei der Tiefstellung auf die Unterkante. Bei der Tiefstellung ist die Leistung viel kleiner; die amerikanischen Kohlen brennen aber nur in dieser Stellung gut. Am günstigsten ist für die Praxis eine

[1] Die Kinotechnik Bd. 13 S. 339 (1931).

Neigung der negativen Kohle um 25° gegen die Achse der positiven Kohle. Bei steiler Stellung oder gar achsialer Anordnung ist der Lichtbogen empfindlicher; im letzten Fall legt man zweckmäßig die Achse der negativen Kohle höher als die der positiven Kohle. Die Form des Bogens und die Richtung der Flamme wird wesentlich durch Blasmagnete, außerdem durch die Metallmassen der Brennerköpfe oder Führungsplatten beeinflußt. In einem Falle wurde dadurch, daß man die Zahl der Windungen auf dem Beruhigungsmagneten um die Hälfte vermindert, eine erhöhte Leuchtdichte von 394 HK/mm² bei ruhigem Betrieb erzielt. Der gewaltigen Helligkeit steht allerdings ein hoher Abbrand der Hochleistungskohle gegenüber. Bei Spiegellampen, welche keine langen Kohlen gestatten, müssen sie deshalb sehr häufig ausgewechselt werden. Kondensorlampen, welche normal mit 510 mm langer positiver und 230 mm langer verkupferter negativer Kohle betrieben werden, brennen etwa 1 Stunde.

Abb. 272 zeigt Querschnitte von älteren, Abb. 273 von neueren Lichtkohlenstiften der Siemens-Planiawerke. Die große sternförmige Kohle war für Blinkfeuer auf Leuchttürmen bestimmt und besaß bis 70 mm Durchmesser. In Abb. 273 ist *2* eine Homogenkohle Marke A; *1*, *3* und *10* sind Dochtkohlen und zwar *1* eine positive SA-Kohle mit weichem Docht, *3* eine negative SA-Kohle mit hartem verkupfertem Docht für Projektion, *7* ist eine Bündelkohle, die älteste Form der Effektkohle für Dauerbrand; *8* ist eine homogene Effektkohle für Dauerbrand, in deren Masse die Leuchtsalze gleichmäßig verteilt sind. *4* und *5* sind Effektkohlen bis 700 mm Länge mit Zinkdraht neben dem Docht. *6* ist eine Mantelkohle nach Blondel mit großem Effektdocht. *12* und *13* sind für besonders hohe Stromdichte bestimmt, *12* Bio-Docht als positive obere Kohle, *13* Bio-Docht verkupfert als negative untere Kohle. *9* schließlich ist eine positive Effektkohle für den Beckeffekt.

Für Kinolampen, deren Kohlen im Winkel zueinander stehen (obere Kohle meist waagerecht, untere senkrecht oder schräg), wird bei Gleichstrom öfters auch „SA positiv“ für beide Pole verwendet. Für Wechselstrom wird als obere Kohle „SA Profil“ und als unterer Effekt „301 schneeweiß“ verwendet. Die Profilkohle wird so eingespannt, daß sich die abgeflachte Seite oben befindet; dadurch wird erreicht, daß die Achse des Lichtkegels waagerecht liegt, während bei runder Kohle eine Nase entstehen und das Licht zum Teil abwärts werfen würde. Für Filmaufnahmen mit panchromatischem Film eignen sich Kohlen, die „extragelbes“ Licht geben, damit die Aufnahme im Farbenton richtig wird. Abb. 274 zeigt allerlei Kohlen für Kinoprojektion.

Für Scheinwerfer werden im allgemeinen Reinkohlen verwendet und zwar bei 50—100 A Marke SS, welche im wesentlichen den SA-Kohlen gleichen, und für 100—200 A Ka-Kohlen, deren positive Kohle

einen harten Docht besitzt und deren negative Kohle außen verkupfert ist; für 180—200 A ist die positive Kohle 38 mm, die negative 16 mm dick.

Als Beispiel für eine Lampe mit rechtwinklig stehenden Kohlen diene Abb. 275 (Kandem-Projektions-Bogenlampe). Die obere Kohle liegt waagerecht in der optischen Achse; ihr leuchtender Krater wird durch die untere Kohle nicht verdeckt. Diese Anordnung erlaubt, die Lichtquelle dem Kondensor der Lampe sehr zu nähern. Unter stumpfem

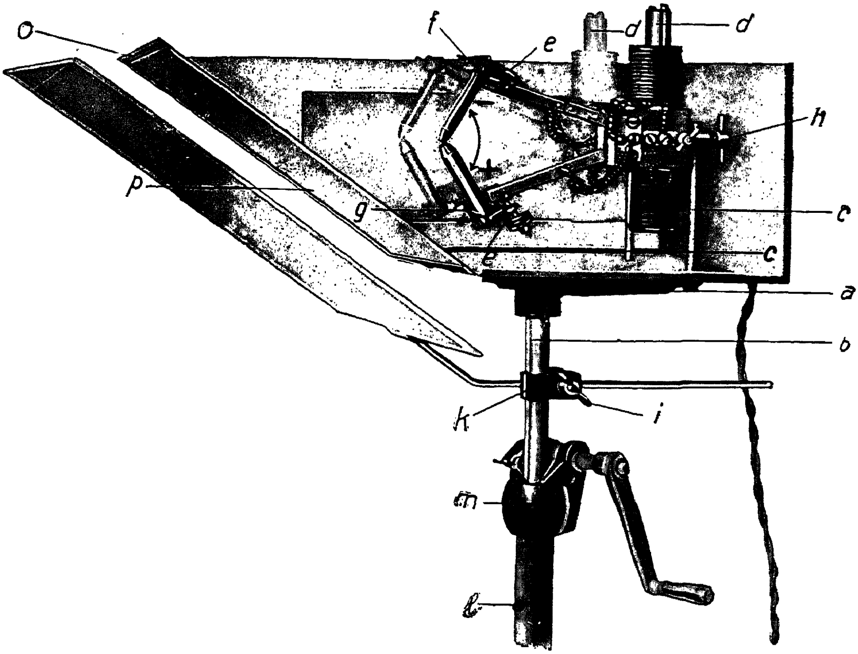


Abb. 276. Kunstlichtlampe „Photolumen".

Winkel sind die Kohlen in der Kunstlichtlampe „Photolumen" für Atelieraufnahmen (Abb. 276) angeordnet. Durch Verwendung von zwei Bogenlampen, welche durch eine Mattscheibe und einen beweglichen Schirm abgeblendet sind, wird eine weiche Beleuchtung erzielt, welche das zerstreute Tageslicht ersetzt. Der Bogen brennt offen mit hoher Spannung und gibt mit seinen Effektkohlen ein angenehm weißes Licht. Abb. 277 zeigt eine Kino-Spiegelbogenlampe der AEG, welche mit Planiakohlen ausgerüstet ist und zwar für Gleichstrom mit Marke Kinoscheinwerfer, positive Kohle mit Docht, negative Kohle mit verkupfertem Docht, für Wechselstrom Marke Polar. Abb. 278 zeigt schließlich einen großen mit 300 A brennenden Scheinwerfer von 1 m

Durch[illegible] für Filmaufnahmen („Aufheller"), dessen Kohlen stumpfwinklig zueinander stehen. Ein starkes magnetisches Gebläse beruhigt den Bogen.

Prüfung der Bogenlichtkohlen. Außer der Bestimmung des Aschengehaltes und der chemischen Analyse ist bei den Lichtkohlen vor allem ihr Verhalten in der Lampe selbst wichtig. Teichmüller[1] ließ zu diesem Zwecke bei einer geeigneten Lampe die Bewegungen des Räderwerkes sich aufzeichnen, welches den Nachschub der Kohlen besorgte. Diese Regelungen erfolgen bei einer fehlerfreien Lampe mit tadellosen Kohlen stets nach gleicher Zeit im gleichen Ausmaß, indem der wachsende elektrische Widerstand des Bogens auf das Uhrwerk einwirkt. Störungen treten z. B. ein, wenn der Bogen vom Docht auf den Mantel

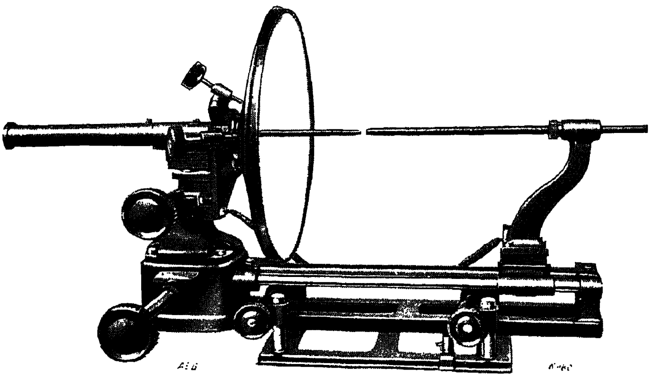


Abb. 277. Kino-Spiegelbogenlampe.

springt; dann wird der Bogen zu lang, die Regelung geschieht gewaltsam, so daß die Kohlen einander zu nahe kommen; nun reißt das Reglerwerk sie rasch wieder zu weit auseinander usw. Aus den Kurvenbildern, die von verschiedenen Kohlen in derselben Lampe gegeben werden, kann man auf ihre Güte schließen. Bei dauernd ruhigem Bogen bleibt das Auf- und Abschweben der oberen Kohle in mäßigen Grenzen; die Regelung erfolgt in gleichen ziemlich kurzen Zeiten; die Nachschübe sind klein und ungefähr gleich. Ein solches Schaubild mit sehr regelmäßigen kleinen Stufen deutet auf gute Kohlen, unregelmäßige, größere Ausweichungen dagegen auf ungeeignete Kohlen.

Bogenlichtkohlen für Heilzwecke. Seitdem Finsen die Bestrahlung mit Licht, das an chemisch wirksamen Strahlen reich ist, in die Heilkunde eingeführt hat, werden seit mehr als 30 Jahren besondere Lampen und Kohlen für Heillicht hergestellt. Für die Finsenlampe mit offenem

[1] Journ. f. Gasbeleuchtung Bd. 51 S. 1210 (1908).

Lichtbogen werden Reinkohlen Marke A Docht verwendet, für Siemens-Aureollampen mit eingeschlossenem Lichtbogen von 160 Volt Spannung Reinkohlen Marke E und zwar bei Gleichstrom Homogenkohlen, bei Wechselstrom Dochtkohlen. Den Wünschen anderer Ärzte entsprechend werden Dochtkohlen mit allerlei Metallsalzen geliefert, die in Lampen ohne Schutzglas brennen und Licht von mannigfacher spektraler Zusammensetzung liefern bis zu einer Wellenlänge von 200 herab. Dem Sonnenlicht am ähnlichsten ist Marke 301 Schneeweiß, starke Wärmestrahlung gibt 301 Rot. Den größten Anteil an ultraviolettem Licht besitzen die Siemens-Heillichtkohlen der Marken Eisen-W-B-Licht, Eisen-N-A-Licht und Eisen-B-Licht. Außerdem werden Nickel-, Magnesium-, Wolfram-, Titan-, Thorium-, Kupfer-, Aluminium- und Zinklichtkohlen geliefert. Die Hauptsorten steigen im Durchmesser von 5—30 mm in Stufen von 1 mm. Zur Unterscheidung sind die verschiedenen Marken am Abstoßende verschiedenfarbig angestrichen, z. B. Nickellicht hellgrün, Eisen-B-Licht Kreuz blaugrün[1].

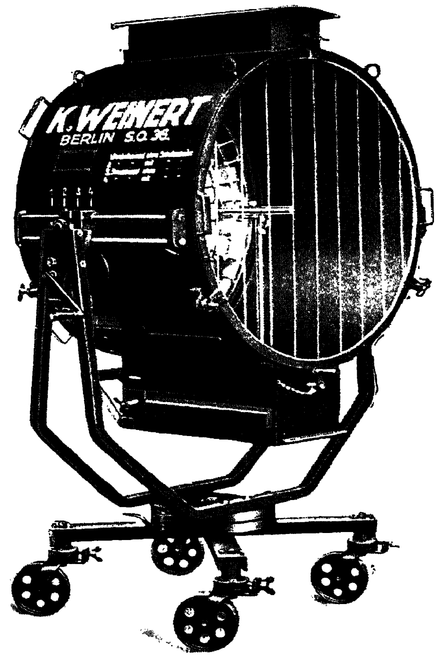


Abb. 278. Scheinwerfer.

Abb. 279 zeigt als Beispiel die Kandem-Bogenlicht-Sonne von Körting und Mathiesen AG., Leipzig-Leutzsch. Der lange Lichtbogen ist in eine Metallglocke eingeschlossen, aus welcher er durch eine längliche Öffnung seine Strahlen in der gewünschten Richtung entsendet. Abb. 280 gibt einen Schnitt durch die mit Gleichstrom brennende Sonne, Abb. 281 gibt das gleiche für Wechselstrom, beidemal bei 6 A und 100 Volt zwischen Wolfram-Dochtkohlen. Diese kleinere Lampe dient besonders für örtliche Betrahlung: die größere mit Wechselstrom von 18 A und Eisen-Dochtkohlen arbeitende Lampe ist besonders zur Allgemein-

[1] In Amerika werden vielfach Lichtkohlen aus Magnetit (Eisenoxyduloxyd) zur Straßenbeleuchtung verwendet.

bestrah[illegible] nimmt. Abb. 282 zeigt die spektrale Zusammensetzung des [illegible] und zwar für Wechselstrom zwischen Eisenkohlen (*2*) und zwischen Wolframkohlen (*3*), ferner für Gleichstrom zwischen Eisen-

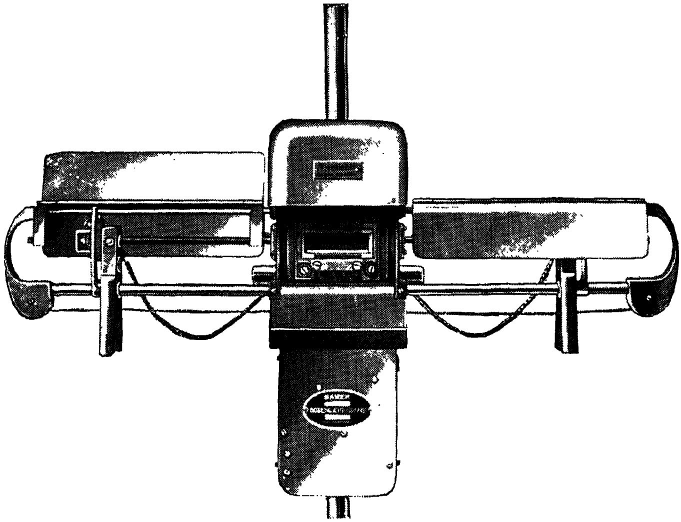


Abb. 279. Kandem-Bogenlicht-Sonne.

kohlen (*4*) und Wolframkohlen (*5*). Zum Vergleich ist oben und unten das Spektrum der Quecksilber-Quarzlampe mit abgebildet (*1* und *6*). Die Brennzeit der Kohlen beträgt etwa 8 Stunden[1].

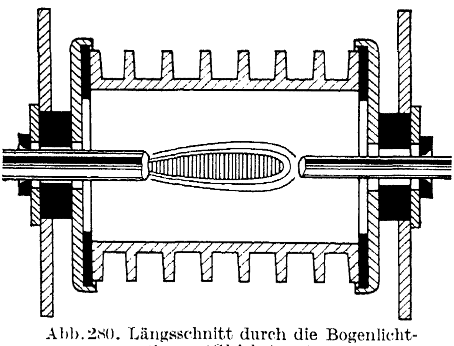


Abb. 280. Längsschnitt durch die Bogenlicht-Sonne (Gleichstrom).

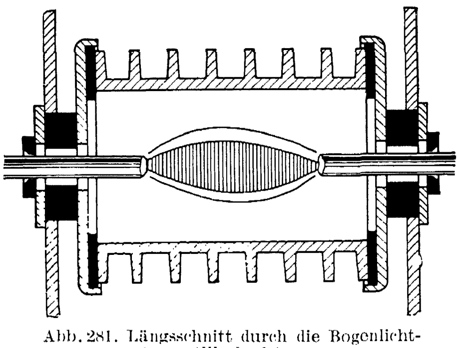


Abb. 281. Längsschnitt durch die Bogenlicht-Sonne (Wechselstrom).

Schweißkohlen[2]. Bei dem elektrischen Schweißen nach Benardos

[1] Der Kohlendurchmesser beträgt für die größere Lampe 13 mm, für die kleinere Lampe 7 mm (bei Gleichstrom für die positive Kohle 9 mm).

[2] Näheres findet man im „Praktischen Handbuch der gesamten Schweißtechnik“ von Schimpke und Horn, Bd. 2 Elektrische Schweißtechnik. Berlin: Julius Springer 1926.

dient der zwischen einem Kohlenstab und dem Werkstück erzeugte Lichtbogen dazu, an der zu schweißenden Stelle das Metall fast augen-

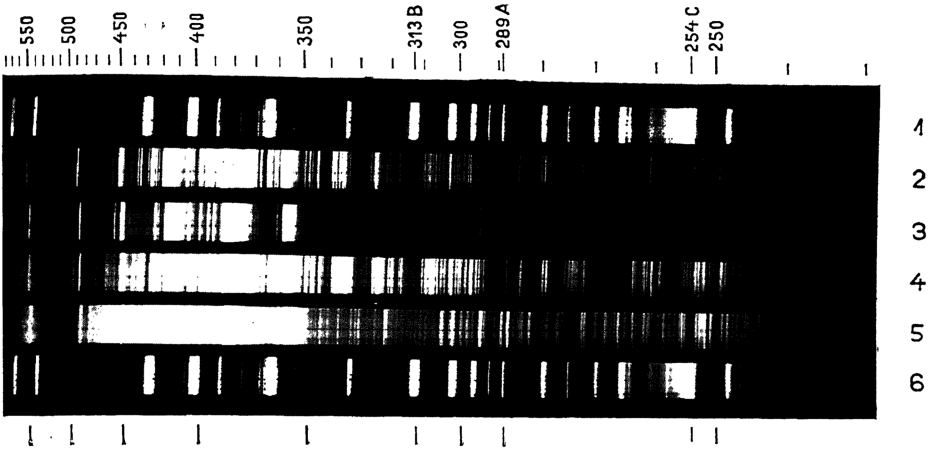


Abb. 282. Spektrogramme von Heillicht-Kohlen.

blicklich zu schmelzen. Abb. 283 zeigt die Eigenart des so gebildeten Lichtbogens; im mittleren Teil des Bogens sieht man den helleren Kern, in welchem die von der Kathode ausgestoßenen Elektronen den Stromweg bilden. Wegen der großen Beanspruchung der Schweißstäbe wird als Rohstoff für sie möglichst Retortenkohle verwendet. Die homogenen Schweißstäbe werden in Stärken von 5—30 mm und Längen bis 800 mm geliefert; der Handlichkeit halber nimmt man gern kürzere Kohlen. Der Lichtbogen benötigt trotz seiner Länge bis 35 mm nur eine Spannung von 15—70 Volt; die Stromstärke beträgt 40—1000 A. Die Kohlen brennen sehr rasch ab und spitzen sich dabei kegelförmig zu; die Brenndauer beträgt meist kaum 2 Stunden. Graphi-

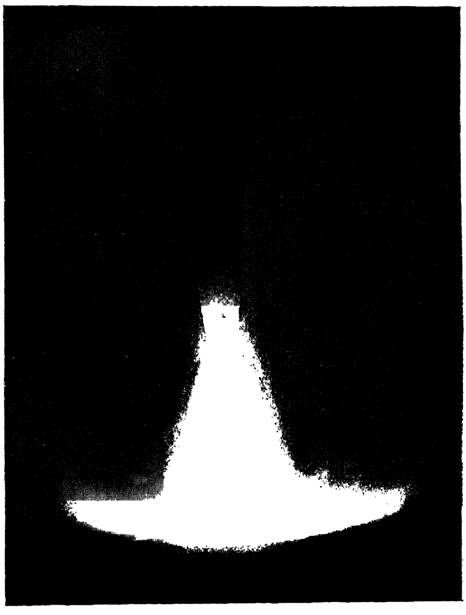


Abb. 283. Schweiß-Lichtb

tierte S[illegible] wegen ihrer besseren Leitfähigkeit höher belastet werden; sie erhalten auf Wunsch, um den Bogen festzuhalten, einen kleinen Docht. Graphitierte Stäbe erlauben ein sehr schnelles und sauberes Schweißen. Bei dem weniger angewendeten Verfahren von Zerener brennt der Flammenbogen zwischen zwei Kohlen, die im spitzen Winkel zueinander stehen, und wird durch einen Elektromagneten nach unten abgeblasen (Abb. 284)[1].

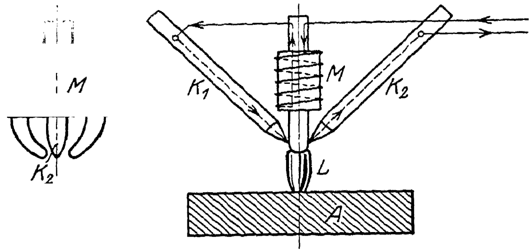


Abb. 284. Schweiß-Lichtbogen mit Blasmagnet.

Abb. 285 zeigt in der Mitte ein Bündel Schweißkohlen der Ringsdorff-Werke ohne und mit Docht, ungraphitiert und graphitiert, zu beiden Seiten „Schweißkohlenplatten" und zwar die zur Linken mit Nut und Feder, die zur Rechten glatt. Diese Schweißkohlenplatten dienen als feuerfester Stoff, um die Form auszukleiden, in welcher etwa gebrochene Teile durch flüssiges Metall wieder verbunden werden. Diese Platten werden außer für das elektrische Schweißen auch z. B. in der Weise verwendet, daß man einen gebrochenen gußeißernen Lokomotivzylinder mit ihnen umbaut und dann aus einer Schmelzpfanne die nötige Menge flüssigen Eisens darauf gießt[2].

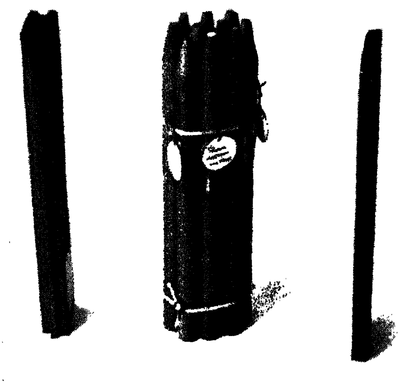


Abb. 285. Schweißkohlen.

Fünfzehntes Kapitel.

Bürsten[3].

Entwicklung. Bei den älteren Dynamomaschinen wurde der im Anker erzeugte Strom durch „Bürsten" abgenommen, welche aus Kupfer-

[1] Bei dem besonders viel verwendeten elektrischen Schweißverfahren von Slavionoff wird der Lichtbogen zwischen einem Metallstab und dem Werkstück erzeugt.

[2] Erwähnt seien noch die Kohlenstifte für spektralanalytische Untersuchungen und für Lötrohranalyse.

[3] Recht nützlich war mir die Schrift von Dr.-Ing. W. Heinrich „Das

drähten oder Kupferblättern zusammengesetzt waren. Hartgezogener Draht von etwa 1—$1^1/_2$ mm Dicke wurde in passende Längen zerschnitten, in mehreren Lagen aufeinander geschichtet, an einem Ende zusammengelötet und in einer Form zu einer Platte zusammengepreßt. Diese flachen Bürsten wurden in die Blechkästen der Bürstenhalter eingeschoben. Die Kupferdrahtbürsten griffen aber die kupfernen Segmente des Kollektors, welcher die in den Ankerspulen erzeugten Wechselströme gleichrichtet, stark an, so daß man die entstandenen Riefen immer wieder durch Abdrehen des Kollektors entfernen mußte. Außerdem funkten sie stark.

Dieses Funken wird durch die Extraströme verschuldet, welche in jeder Ankerspule entstehen, wenn sie beim Umlauf aus der oberen in die untere Hälfte eines Magnetfeldes kommt; dabei kehrt sich der Strom in ihr um, indem er durch Null hindurchgeht. Wie Abb. 286 schematisch zeigt, sind die beiden Enden jeder Spule *S* zu zwei benachbarten Segmenten *1* und *2* des Kommutators geführt. Im Augenblick, wo die Bürste die aus Glimmer bestehende Isolierung zwischen den beiden Segmenten überbrückt, wird die Spule kurz geschlossen; der dadurch in ihr hervorgerufene Extrastrom hat so hohe Spannung, daß er einen starken Funken gibt, wenn die Bürste das Segment *2* verläßt[1]. Das so entstandene Bürstenfeuer ließ sich freilich durch Verschieben der Bürsten in der Drehrichtung abschwächen; je nach der Belastung der Dynamo mußte aber die Einstellung nachgeregelt werden. Besser als diese Drahtbürsten bewährten sich Gewebebürsten, die aus mehreren Lagen von Kupferdrahtgewebe gepreßt waren; sie werden auch heute noch in beschränktem Umfange verwendet.

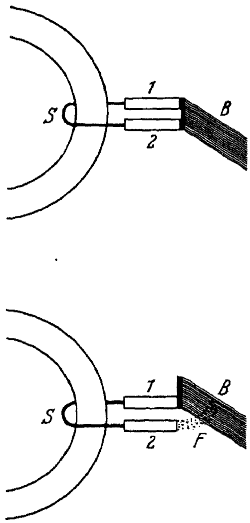


Abb. 286. Entstehung des Funkens der Bürsten.

Der einleuchtende Vorteil der Kupferbürsten, die gute Leitfähigkeit, ist in bezug auf das Bürstenfeuer ein Nachteil; denn die Stromstärke des Kurzschlußstromes ist um so größer, je geringer der Widerstand in seinem Stromkreise ist. Ganz ungeeignet erwiesen sich die Kupferbürsten für Straßenbahnmotoren, welche vorwärts und rückwärts laufen müssen

Bürstenproblem im Elektromaschinenbau", München und Berlin 1930, Verlag von R. Oldenbourg.

[1] Wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Kommutators 20 m/s beträgt und die Bürste 20 mm dick ist, so vollzieht sich die Stromumkehr und der Kurzschluß in etwa $^1/_{1000}$ Sekunde.

und bei denen die Bürsten nicht entsprechend der Belastung verstellt werden können. Für sie hat zuerst der berühmte Elektrotechniker

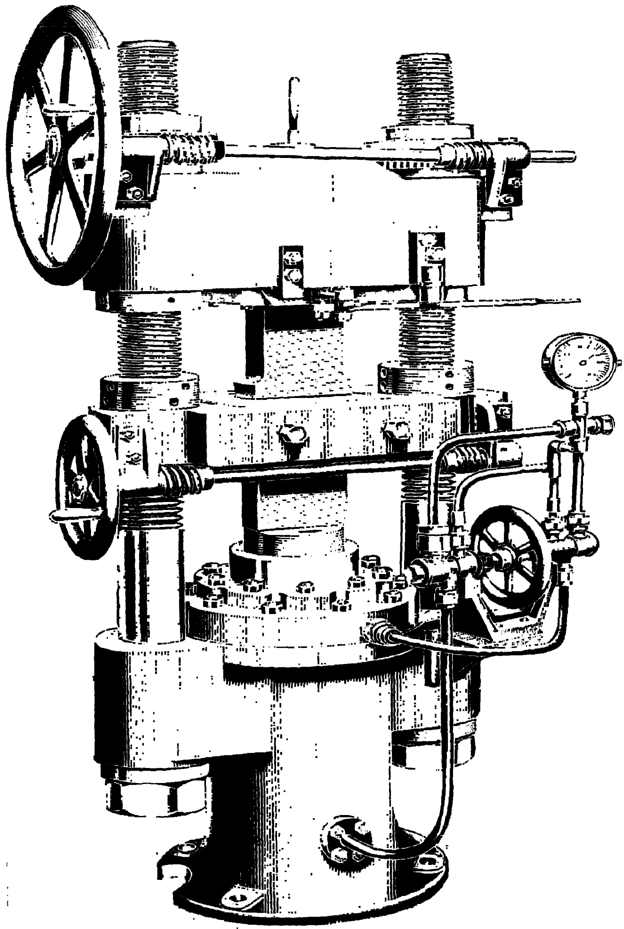


Abb. 287. Hydraulische Pressen für Kohleplatten.

Elihu Thompson Kohle als Stromzuleiter versucht und zwar soll er anfangs Bogenlampenkohle verwendet haben. 1890 brachte die Société Le Carbone die erste richtige Kohlenbürste heraus und zwar ihre noch

heute viel benutzte Hartkohle QS; sie brach damit die Bahn für die wichtige Industrie der Kohlenbürsten. Der Name Bürsten (im Französischen balai = Besen) blieb, obwohl sich die Gestalt völlig änderte. Entsprechend ihrem verhältnismäßig hohem Widerstand schwächte die Kohlenbürste den Kurzschlußstrom und damit das Funken; der Kollektor wurde nun viel weniger angegriffen. Weil diese Hartkohlen im allgemeinen nur bis 6 A/cm^2 belastet werden dürfen, ließ man bei hoher Stromstärke sie mit Gewebebürsten in der Weise zusammenarbeiten, daß die Hartkohle als Vorläufer die Funken abfing. Diesen Mangel der geringen Belastbarkeit konnte die Société Le Carbone beseitigen, indem sie die Kohle nach dem Verfahren von Girard und Street (siehe S. 138) graphitierte; die 1893 auf den Markt gebrachte graphitierte Kohle Marke X verträgt 12 A/cm^2.

Als 1905 die ersten Gleichstrom-Turbodynamos gebaut wurden, erforderte die große Umfangsgeschwindigkeit am Kollektor wieder neue Kohlenbürsten, weil die vorhandenen sich nur für die bisher übliche Geschwindigkeit von 15—18 m/s eigneten. Die neue Forderung wurde durch die Naturgraphitbürste („Hochgraphit"-Bürste) erfüllt. Durch weitgehende Graphitierung konnte die im elektrischen Ofen erzeugte Graphitkohle ebenfalls den hohen Umfangsgeschwindigkeiten angepaßt werden.

Schließlich wurde in den metallhaltigen Kohlenbürsten der Vorzug guter Leitfähigkeit mit einigen Vorzügen des Graphits verbunden; diese Metallbürsten werden bei Gleichstromdynamos von niedriger Spannung und zur Ableitung starker Ströme von Schleifringen verwendet.

Herstellung der Bürsten. Die harten Kohlenbürsten werden aus Petrolkoks oder Pechkoks, Retortenkohle und Ruß (aus Teer oder schwerem Erdöl) unter Zusatz von Bindemittel ähnlich wie die anderen Kunstkohlen hergestellt. Die dichte und harte Retortenkohle gibt im Gefüge der Bürste ein schwach schleifendes Korn. Die Rohstoffe werden sehr fein gemahlen. Das Mischen in der Wärme, Durcharbeiten der bildsamen Masse im Kalander und Pressen geht, wie schon früher beschrieben, vor sich. Abb. 287 zeigt eine hierfür besonders gebaute Presse von Pemsel. Die Masse wird oben in die Form eingefüllt; die unter hohem Druck im Gesenk gepreßten Platten werden oben ausgestoßen. Eine Doppelventilsteuerung führt den Preßkolben zwangsläufig aufwärts und abwärts. Der höchste Preßdruck beträgt 250 t. Die Platten werden gemäß den Abmessungen der Bürsten zerschnitten. Nachdem die Bürsten in dem mit Gas geheizten Ofen allmählich gar gebrannt sind, werden sie mit Karborundumscheiben trocken oder naß geschliffen. Fräsmaschinen geben ihnen jede gewünschte Form. Die geschliffenen Bürsten werden auf genaues Maß geprüft und dann mit ihrer besonderen Bezeichnung durch Eingravieren versehen. Es folgt das Verkupfern an

dem [illegible] die Armatur befestigt wird, und deren Anbringung. Abb. 288 zeigt eine Maschine zum Zerschneiden von Kohlenplatten und Schleifen kleiner Bürsten mit eingebautem Elektromotor, der etwa 2400 Umdrehungen in der Minute macht und gegen 1 PS leistet. Die Schleifmaschine Abb. 289 hat Schleifscheiben von 270 mm Durchmesser und 40 mm Breite; sie wird mit Riemenscheibe angetrieben, macht 1800 Umdrehungen und braucht ebenfalls 1 PS. Abb. 290 schließlich gibt die Ansicht einer Schleifmaschine zum allseitigen Schleifen von Bürsten. Die beiden Schleifringe haben 400 mm Durchmesser und sind von Schutzhauben umgeben, die mit dem Kanal zum Absaugen des Staubes unmittelbar verbunden sind. Die Schleiftische können senkrecht und waagerecht verstellt werden; die obere Tischplatte ist drehbar gelagert. Die Maschine macht 1800 Umdrehungen und verbraucht 2 PS. Ein Teil der im Gasofen gebrannten Bürstenkohlen wird im elektrischen Widerstandsofen graphitiert. Abb. 291 zeigt die Graphitierungsöfen auf Werk 1 der Ringsdorffwerke in Mehlem am Rhein (bei Bonn).

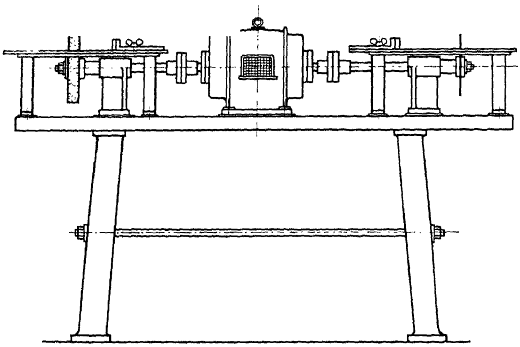


Abb. 288. Schneid- und Schleifmotor für Bürsten.

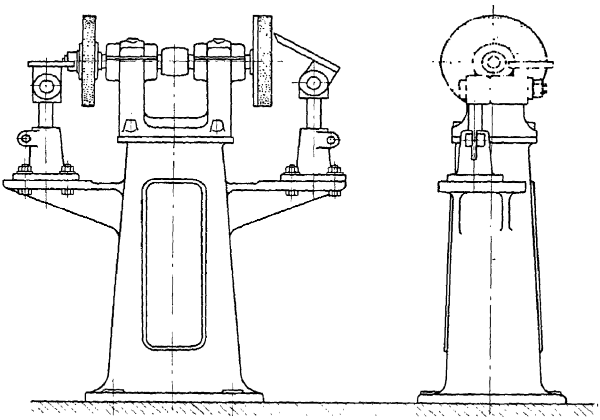


Abb. 289. Schleifmaschine für Dynamobürsten.

Zur Herstellung der „hochgraphitischen“ Bürsten für große Umfangsgeschwindigkeiten wird gereinigter Naturgraphit oder Elektrographit verwendet; er wird gesiebt, mit dem Bindemittel gemischt und zu Platten gepreßt, die wie die Hartkohlen gebrannt werden. Die englische Firma Morgan hat sich ein Verfahren durch DRP. 180 674 und

184675 schützen lassen[1], nach welchem blättriger (also mit anderen Worten flinziger) Graphit bis auf eine Korngröße von 0,2 mm gemahlen und dann unter sehr hohem Druck (über 3000 kg/cm²) geformt wird. Heinrich gibt aber an, daß die ungebrannten Graphitbürsten sich nicht bewährten, weil sie sich beim Warmwerden ausdehnten und im Halter

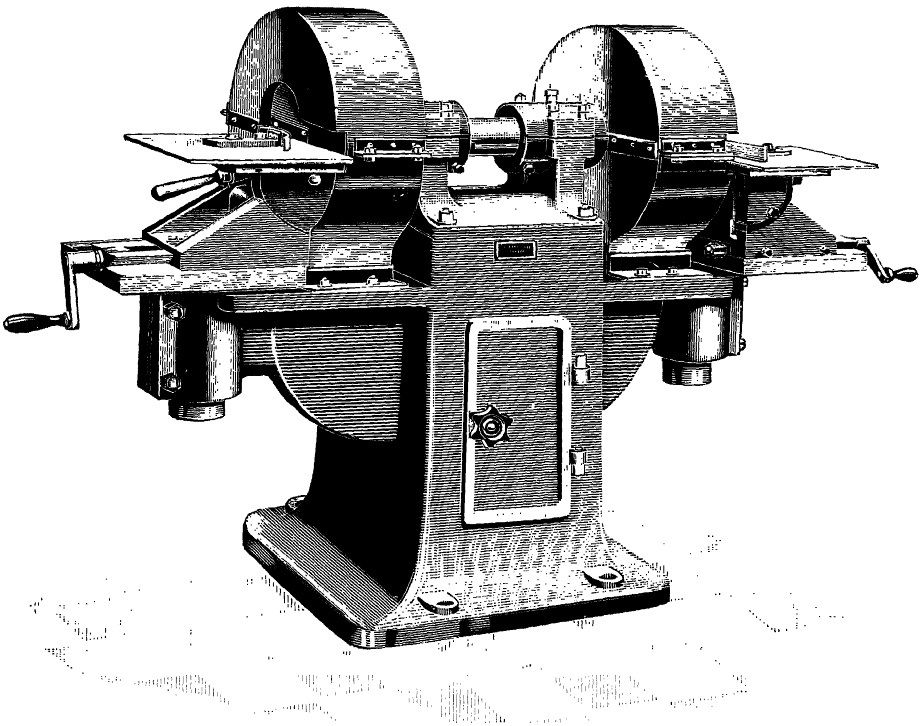


Abb. 290. Schleifmaschine zum allseitigen Schleifen von Bürsten.

festklemmten. Nach DRP. 404741 von Le Carbone wird dem Graphit als Bindemittel Gelatinelösung zugesetzt und die Gelatine mit Formaldehyd gehärtet[2].

Metall-Kohlebürsten wurden anfangs nach dem Vorbilde der Gewebebürsten hergestellt, indem man Metallpapier und zwar Papier,

[1] Die deutschen Reichspatente über Kohlenbürsten sind zumeist in Klasse 21d[1], Gruppe 63, zu finden.

[2] Gebr. Siemens & Co. (DRP. 444741) tränken die Kohlenplatten mit Gelatinelösung und härten ebenfalls mit Formaldehyd, um weiche Kohlen fester zu machen.

das ... Kupfer und dann mit Nickel überzogen war, mit
eine... tränkte, die beim Erhitzen verkohlt, eine Anzahl Lagen
dies... aufeinanderpreßte und erhitzte (DRP. 107444) oder

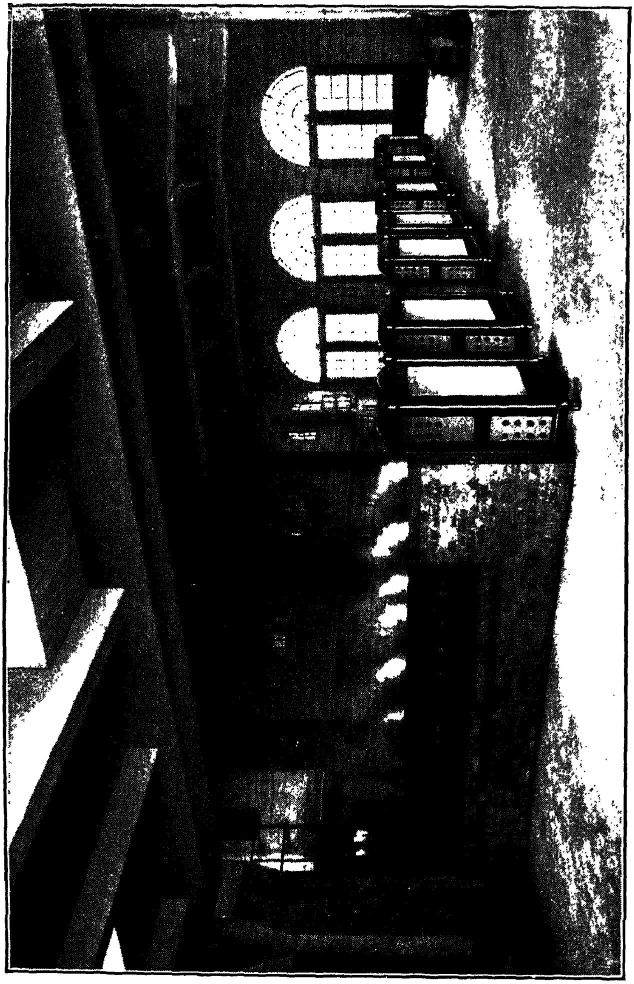


Abb. 291. Graphitierungsöfen der Ringsdorff-Werke.

indem man die Metalleinlagen mit Teer tränkte, in Kohle einbettete, preßte und glühte (DRP. 171538) oder indem man aus Graphit dünne Platten preßte und diese galvanisch mit Metall überzog (DRP. 182387). Ein Erfinder verkupferte Kohlekörnchen, verzinnte sie dann und preßte aus ihnen Platten, die er nun bis zum Schmelzen des Zinns erhitzte (DRP. 154287). Weiter werden nach DRP. 289101 und 317507 Metalle,

die sich miteinander legieren, als Pulver dem Graphit beigemengt und die daraus gepreßten Platten so hoch erhitzt, daß sich die Legierung bildet. Im allgemeinen mischt man in der Praxis Metallschliff (Kupfer, Zink, Blei und Zinn, einzeln oder zusammen) mit Graphit und Bindemittel, preßt und glüht. Recht einfach ist das durch DRP. 353424 und 354230 geschützte Verfahren von Siemens, nach welchem Graphit mit Kupferpulver (oder anderem Metallpulver) zusammengepreßt und auf höchstens 300° erhitzt wird. Wenn das Gemisch mindestens 20% Graphit enthält, so ist diese Metallbürste dank der Bildsamkeit des reinen Kupfers auch ohne Glühen fest.

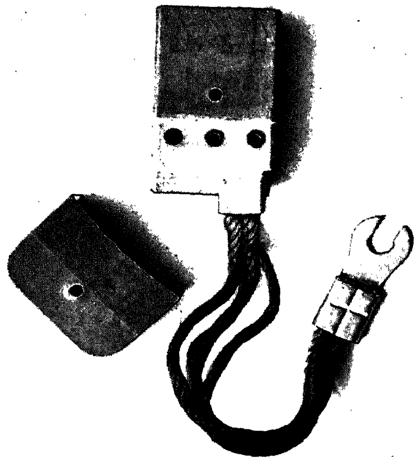


Abb. 292. Bürste ohne und mit Kabelschuh.

Je höher der Metallgehalt, um so besser leitet die Bürste und um so höher darf sie mit Strom belastet werden.

Bürstensorten. Auf diese Weise hat man eine große Zahl von Möglichkeiten, um Leitfähigkeit, Härte und Festigkeit der Bürsten allen denkbaren Ansprüchen anzupassen. Die Verzeichnisse von Siemens-Plania, Conradty, Ringsdorff, Carbone (Frankfurt am Main-Bonames), Schunk und Ebe (Gießen) usw. enthalten eine große Zahl von Bürstensorten und eine noch größere Zahl von Bürstenformen.

Aus einem dieser Verzeichnisse entnehme ich die folgende Zahlentafel:

	Spez. Widerstand	Härte	Festigkeit	Belastung	Geschwindigkeit
Harte Kohlen	50—70	50—70	340—450	4—7	15
Mittelharte Elektrographit-Kohlen	30—40	30—45	225—300	7	20
Graphitierte Kohlen .	25—40	25—60	210—320	12	50
Naturgraphit-Kohlen .	15—30	7—15	45—170	16—20	50
Metall-Graphit-Kohlen	0,1—4	5—26	300—360	17—29	25—35

Der spezifische Widerstand bezieht sich, wie üblich auf 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt, die Härte ist die Skleroskophärte nach Brinell, die Festigkeit ist Bruchfestigkeit bei langsamer Steigerung des Druckes in kg/cm². Unter Belastung ist die zulässige Belastung in A auf den Quadratzentimeter gemeint; die Geschwindigkeit ist in Metersekunden angegeben. Die Liste von Gebr. Siemens & Co. aus dem Jahre 1922

zählt fünf Sorten harter Kohlenbürsten, 4 leichtgraphitische Marken, 4 hochgraphitische Marken, 5 Kupferkohlenbürsten, 4 Kupferbürsten und 2 Bronzekohlen. Die angegebene Festigkeit ist hier genauer genommen; sie bezieht sich auf einen Querschnitt von 50 mm Breite und 16 mm Höhe. Sie ist am kleinsten bei der hochgraphitischen Bürste P 30 mit 140 und am größten bei der Kupferbürste PB 15 mit 2150. Das spezifische Gewicht liegt bei den Kohlenbürsten und den graphitischen Marken zwischen 1,46 und 1,98, steigt bei den Kupferkohlenbürsten bis 3,76 und liegt bei den Kupferbürsten zwischen 4 und 5,51; bei den Bronzebürsten ist es 5,08 und 5,13.

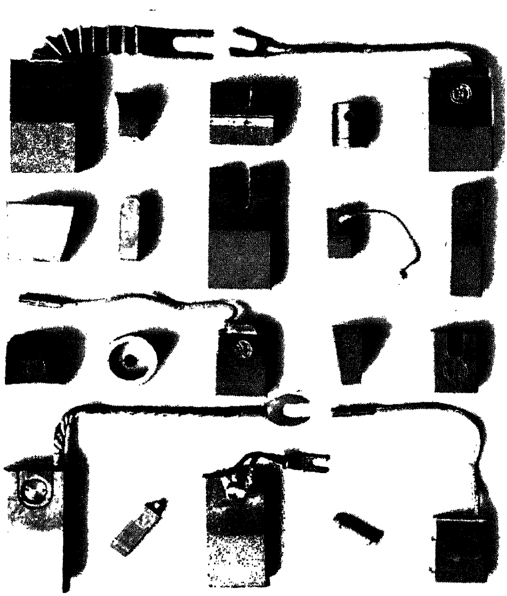


Abb. 293. Kohlebürsten (Conradty) 1/4 nat. Gr.

Armatur der Bürste. Für feste Bürsten, welche den Druck des Bügels im Bürstenhalter vertragen, genügt der Stampfkontakt; das Ende des Kabels wird in eine Bohrung der Bürste eingebettet und mit Metallzement eingekittet. Sehr gut ist der Nietkontakt für diese festen Bürsten. Bei weichen Bürsten ist dagegen eine besondere Kappe nötig, auf welche der Bügel des Halters drückt. Hier ist der Düsenkontakt gut: aus dem Blech der Kappe werden zwei Düsen gedrückt, in die man nachher die Litzenenden einklemmt. Am anderen Ende bekommen die Litzen einen Kabelschuh, mit dem sie am Bürstenhalter befestigt werden (Abb. 292). Abb. 293 und 294 sind aus meiner Sammlung Zusammenstellungen, die ich der Freundlichkeit von C. Conradty, Nürnberg, verdanke[1].

Bürstenhalter. Sehr wichtig ist die Art des Halters, in den die Bürste eingespannt ist. Auch die beste Bürste arbeitet in einem ungeeigneten Halter nicht gut. Die älteste Form des Bürstenhalters ist der „Blockhalter", welcher die Kohle fest faßt. Als aber die Umfangsgeschwindig-

[1] In Abb. 292 ist links eine kurze, dicke Bronzebürste zu sehen.

keit des Kollektors immer größer wurde, konnte die zu große träge Masse des Blockhalters mit der festgeklemmten Bürste den vom Kollektor herrührenden Schwingungen nicht mehr folgen und die Bürsten feuerten. Deshalb löste man die starre Verbindung und ordnete die Bürste in einer kastenähnlichen Führung beweglich an; so entstand der heutige Kastenhalter. Der Bügel des Halters, welcher die Bürste an den Kollektor mit angemessener Kraft andrückt, ist als Uhrfeder ausgebildet oder als Druckbügel mit Zugfeder versehen oder bei den mannigfaltigen Halterformen noch anders gebaut. Indem man den Halter mit der Bürste senkrecht zum Kollektor aufsetzt, gibt man Freiheit, die Maschine in beliebiger Drehrichtung laufen zu lassen. Wenn aber die Maschine sich nur in einer Richtung dreht, so ist es viel besser, den Kastenhalter schräg zu stellen und zwar unter etwa 20° derart, daß der Kollektor gegen die Spitze der Bürste läuft. Dann sind die Schwankungen wesentlich kleiner als bei senkrechter Stellung. Für große Maschinen mit hoher Umfangsgeschwindigkeit wurde aus dem senkrecht stehenden Kastenhalter der BBC-Halter entwickelt, bei welchem die niedrige, frei geführte Blockkohle von oben genau in der Mitte durch ein Stäbchen angepreßt wird. Aus dem schräg gestellten Kastenhalter entstand der AEG-Halter (Abb. 295), dessen lange Feder die Schwingungen dämpft. Bei dem sogenannten Reaktionshalter liegt die Bürste nur mit ihrer vorderen Längsfläche am Halter an: die Drehrichtung ist gegen die Spitze der Bürste gerichtet. Abb. 296 zeigt als Beispiel eines senkrecht stehenden Halters den Radial-Bürstenhalter (mit Feineinstellung des auf die Bürste ausgeübten Druckes) *GOf* von Schunk und Ebe; er eignet sich besonders für „Reversieranlagen", z. B. für Antriebsmotoren der Umkehrwalzenstraßen. Abb. 297 zeigt einen Schräg-Bürstenhalter *SR* der Ringsdorff-Werke, bei welchem

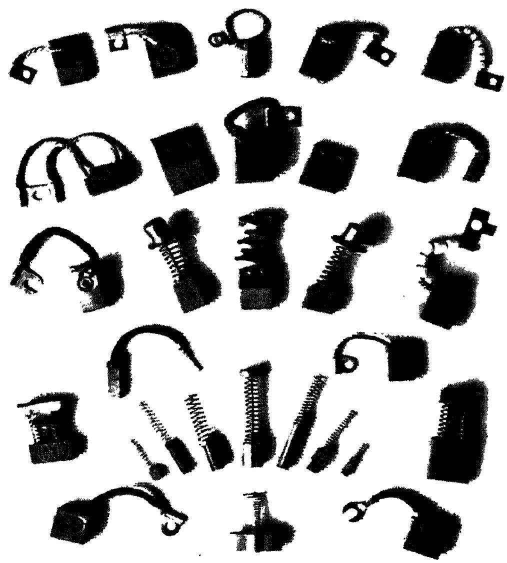


Abb. 294. Kohlebürsten (Conradty) 1/4 nat. Gr.

sich a[illegible] vom Halterkasten abhebt, aber den Kollektor mit ihrer ganzen Lauffläche berührt.

Wahl und Anordnung der Bürsten. Für kleine Gleichstrommaschinen genügt es, die billigen Hartkohlen zu verwenden, welche wegen ihres verhältnismäßig hohen Übergangswiderstandes die im Anker erzeugten Extraströme gut abdrosseln („die Reaktanzspannungen bei der Kommutierung aufnehmen“). Wo der Strom von der Bürste zum Kollektor läuft, wo die Bürste „Anode“ ist („am Plusmotorpol“), läuft sie sich spiegelblank, die „kathodischen“ Bürsten dagegen bekommen Streifen, die sich genau mit der Teilung des Kollektors decken und ein Maß für die Strombelastung bieten. Der Minusmotorpol zeigt öfter etwas Bürstenfeuer. Trotz dieses leichten Bürstenfeuers gewinnen die Kollektoren oft hochglänzende Politur und verschleißen gar nicht. Bei diesen mit Hartkohlen besetzten Maschinen braucht man auch nicht den Glimmer zwischen den Segmenten auszukratzen, weil die harte Kohle ihn wegnimmt.

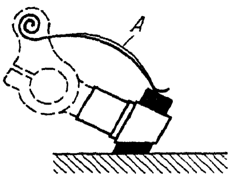
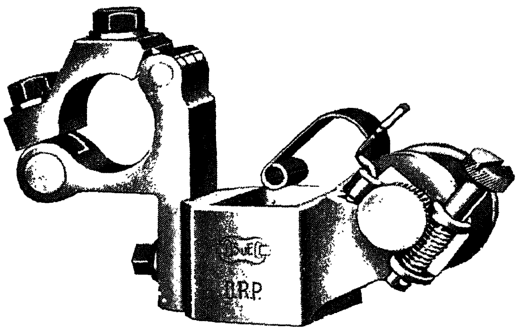


Abb. 295. AEG-Halter.

Elektrographitkohlen sind mittelhart. Das die Teilchen des Elektrographits verkittende Bindemittel ist beim Brennen verkokt und bildet ein härteres Gerippe. Sie leiten besser als die Hartkohlen, aber schlechter als die graphitierten Kohlen und Naturgraphitkohlen; sie sind fester als die Naturgraphitkohlen. Sie eignen sich besonders für 110- und 220-Voltmaschinen und überall, wo die Umfangsgeschwindigkeit eine mittelharte Bürste erlaubt.


Abb. 296. Radial-Bürstenhalter.

Die im elektrischen Ofen graphitierten Kohlen[1] zeichnen sich durch ein sehr gleichmäßiges Gefüge und große Reinheit aus. Sie vereinigen Festigkeit mit geringer Reibung und guter Leitfähigkeit. Diese „Edelkohlen“ eignen sich besonders für Fälle, wo hohe Leitfähigkeit mit bedeutender Festigkeit vereint werden muß und wo Kurzschlußsicherheit verlangt wird. Neuerdings werden sie bei Kraftwagen-Lichtmaschinen und schnellaufenden Universalmotoren viel verwendet. Bei den Einankerumformern kommen fast nur elektrographitierte Kohlen in Frage, wenn der Umformer von der Drehstromseite her anläuft.

[1] Die Acheson Graphite Co graphitiert für amerikanische Bürstenhersteller Kohlen im Wert von 6—10 Millionen Dollar jährlich.

Diese graphitierten „Edelkohlen" werden auch bei Maschinen für hohe Spannungen und rasch wechselnde Belastung ausschließlich benutzt; weil sie fest und feuerbeständig sind.

Die Naturgraphitkohlen, oft kurz Graphitkohlen oder hochgraphitische Kohlen genannt, verdanken dem blättrigen Naturgraphit neben der großen Leitfähigkeit die sehr geringe Reibung, welche sie für die heutigen großen Schnelläufer unentbehrlich macht. Ihre große Weichheit ist aber auch ihr Nachteil. Auch sie werden in mannigfachen Abstufungen hergestellt. Naturgraphitbürsten geben wegen der leichten Schleifkraft des Naturgraphits dem Kollektor Hochglanz; nach einem Jahr können sich leichte Wellen zeigen, die aber nichts schaden. Die Naturgraphitbürste läßt die Maschine auch bei hoher Drehzahl ruhig laufen und schluckt die Reaktanzspannungen gut; sie hat freilich den Nachteil, daß sie bei Kurzschluß ausbrennt, nicht „brandsicher" ist. In einigen Fällen läßt sich die Naturgraphitkohle durch Elektrographitkohle nicht ersetzen[1].

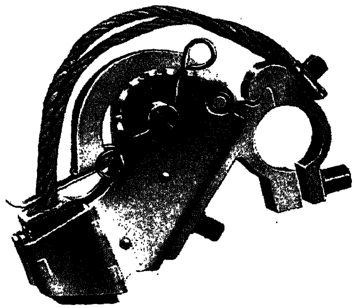


Abb. 297. Schräg-Bürstenhalter.

Bei den großen Maschinen ist der Kollektor breiter als der Anker und hat wegen seines großen Durchmessers eine hohe Umfangsgeschwindigkeit. Er wird mit einer großen Zahl von Bürsten aus Naturgraphit oder Elektrographit besetzt, die zu mehreren nebeneinander angeordnet sind, um sich in die hohe Belastung zu teilen. Abb. 298 stellt einen Einankerumformer für 5000 kW mit 588 elektrographitierten Bürsten dar; bei 385 Volt liefert er 13000 A. Weil die positiven und die negativen Bürsten die Schleiffläche verschieden stark angreifen, so müssen auf jeder Stelle des Kommutators gleichviel positive und negative Bürsten schleifen: man setzt deshalb die Bürsten zweier benachbarter Bolzen genau hintereinander. Damit aber keine Wellen oder Riefen auf dem Kollektor entstehen, werden die Bürsten jedes Bolzenpaares gegen das vorangehende Paar um ein Stück seitwärts immer im gleichen Sinne versetzt, so daß der Kommutator in seiner ganzen Breite möglichst gleichmäßig von den Bürsten bestrichen wird. Diese Anordnung wird durch

[1] W. Heinrich berichtet, daß bei Motorgeneratoren eine Wickelung mit 1 (2) Stab je Nut sehr gut mit „Hochgraphit"-Kohlen (d. h. Naturgraphit) läuft, mit 2 Windungen je Segment und Schleifenwicklung bei großen Leistungen des Polpaares nur mit diesen Kohlen, gar nicht aber mit Elektrographitkohlen zu betreiben war.

Abb. 299 : sie stellt die in die Bildebene abgerollte Kommutatorf... er sechspoligen Maschine dar. Die Bürsten dürfen

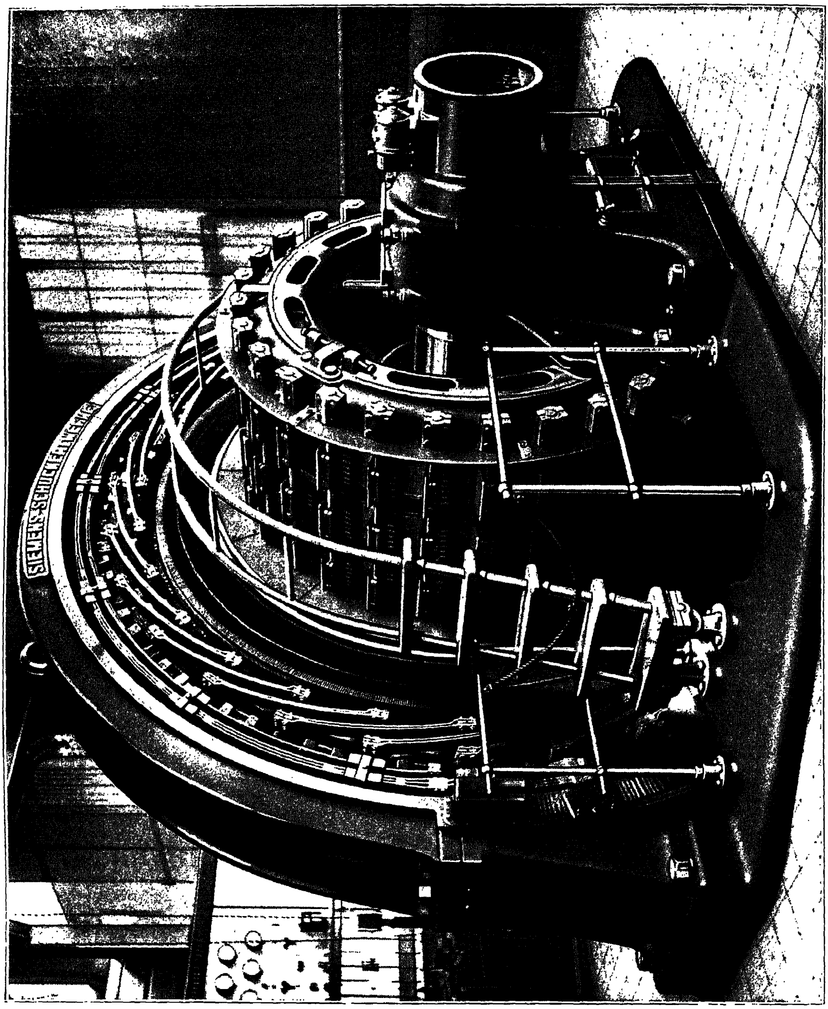


Abb. 298. Einanker-Umformer für 13000 A. 385 Volt mit 588 Bürsten.

weder über den Rand des Kommutators herausragen, noch gegen den inneren Wulst oder die Fahnen der Kommutatorzuleitungen anlaufen, worauf bei Maschinen, deren Anker in Richtung der Achse pendelt, besonders zu achten ist.

Zum Schutze der weicheren Bürsten pflegt man die Glimmerisolation zwischen den Kupferlamellen ein wenig auszukratzen; jedoch sollen die dadurch entstehenden Nuten nicht tiefer als 0,5 mm und überall gleichmäßig sein. Beim Auskratzen dürfen die Lamellen nicht beschädigt werden. Der entstandene Grat wird im Laufen abgeschmirgelt, der Kupfer- und Glimmerstaub abgebürstet und ausgeblasen[1]. Das Abschmirgeln der Schleifflächen des Kollektors soll bei abgehobenen Bürsten mit Schmirgelleinen geschehen, das mit einem der Rundung der Fläche genau angepaßten Klotz angedrückt wird (nicht mit Tuch- oder Filzpolster!).

Die aus Metall und Graphit bestehenden Bronze- und Kupferbürsten werden für Niederspannungsmaschinen und hohe Belastung verwendet. Sie besitzen die größte Leitfähigkeit und zum Teil auch sehr hohe Festigkeit. In einigen Fällen kann man auch die billigeren „Kupferkohle"-Bürsten nehmen, die höher als Graphitbürsten ohne Metallgehalt belastet werden dürfen. Bei gekapselten Drehstrommotoren benutzt man die metallhaltigen Kohlen, um die Reibung und den Übergangswiderstand an den Bürsten möglichst klein zu halten. Dagegen darf man bei Drehstrommotoren, deren Bürsten vom Anker abgehoben, also nur kurze Zeit belastet werden, die billigeren graphitreichen Bürsten verwenden. Bei Umfangsgeschwindigkeiten über 20 m/s empfiehlt sich eine etwas graphitreichere Bronzekohle. Wesentlich ist bei der Auswahl der Bürstensorte das Metall der Ringe. Je gleichmäßiger das Gefüge des Ringes ist, um so sicherer ist der Betrieb mit Bronzebürsten, weil hier Metall auf Metall reibt. Wenn etwas nicht in Ordnung ist, so entwickelt sich am Schleifringe Staub. Gegenmittel sind genaues Anpassen der Metalle von Bürste und Ring, feste Bürstenhalter, völlig ruhig laufende Ringe, gelegentliches Fetten der Ringe mit Transformatoröl (in England üblich), Verbindung von Metallbürsten mit Graphitbürsten, Anordnung eines „Wellenspiels", um die Lauffläche gleichmäßig abzunutzen und das Polieren zu fördern, schließlich Aufschlitzen der Bürsten an der Lauffläche, um sie anschmiegsamer zu machen.

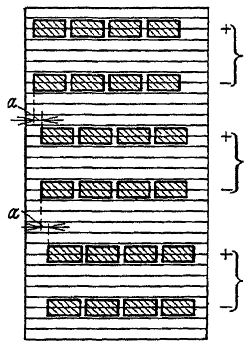


Abb. 299. Richtige Anordnung der Bürsten auf dem Kommutator.

Große Gleichstromerzeuger für elektrochemische Werke leiden nicht selten unter schädlichen Gasen. Durch besondere Versuche muß man herausfinden, ob für die betreffende gashaltige Luft Naturgraphit- oder Elektrographitbürsten besser sind.

[1] Der Staub darf natürlich nicht in die Wicklungen hineingeblasen werden.

Bei Bahnmotoren ergeben sich besondere Schwierigkeiten durch die unvermeidlichen Erschütterungen, welche hohen Bürstendruck nötig machen, in Deutschland mindestens 400 g/cm², in Amerika bis 700 g/cm². Durch Verstauben kann plötzlich Rundfeuer entstehen, z. B. wenn die Luft auf staubiger Landstraße durch den Motor über den Kollektor gesogen wird. Weil außerdem die Belastung und die Umfangsgeschwindigkeit der Bahnmotoren heute sehr hoch ist, so eignen sich für sie fast nur graphitierte Kohlen. Am größten sind die Anforderungen bei elektrischen Lokomotiven für Vollbahnen. Hier darf die Bürste im Halter nur 0,05 mm Spiel haben und muß stets mit demselben Druck angepreßt werden und zwar bei gut gefederten Motoren mit 170—240 g/cm². Die Härte (Skleroskophärte) der Bürste muß zur Härte des Kollektorkupfers im richtigen Verhältnis stehen, damit der Verschleiß möglichst gering ist. Unter richtigen Bedingungen kann die Abnutzung der Bürsten auf 1000 Zugkilometer nur 0,1 mm betragen und ein Nacharbeiten des Kollektors erst nach mehr als 200000 km nötig werden.

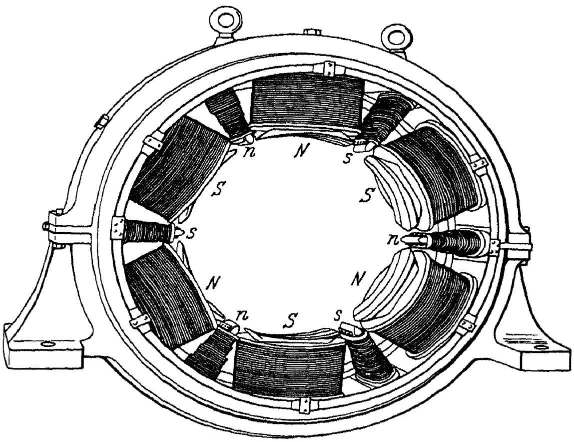


Abb. 300. Hauptpole und Wendepole.

Der Kampf gegen das Bürstenfeuer. Größere Gleichstrommaschinen werden heute mit Wendepolen gebaut, um das Bürstenfeuer zu verhindern. Man bringt in der neutralen Zone zwischen den Magneten kleine Hilfspole an, die vom Hauptstrom erregt werden. Dadurch erzeugt man an der Stelle, wo der Strom in der Spule umkehrt (der Kommutierungsstelle) einen Induktionsstrom, welcher dem Extrastrom entgegenwirkt und dessen Größe sich in derselben Weise wie die des Extrastromes ändert. Durch geeignete Bemessung dieser Hilfspole, der Wendepole, kann man das Feuern verhüten, ohne die Bürsten verschieben zu müssen, wenn sich die Belastung oder die Drehzahl der Maschine stark ändert. Jeder Wendepol muß die gleiche Polarität eesitzen wie der in der Drehrichtung auf ihn folgende Hauptpol. Abb. 300 stellt das Magnetgehäuse einer sechspoligen Maschine mit breiten Hauptpolen und spitzen Wendepolen dar.

Bürstenfeuer kann auch dann auftreten, wenn die Bürsten am Umfang

des Kommutators nicht der Polteilung entsprechend gleich weit voneinander entfernt sind. Ferner sollen feste Führungskästen von der Schleiffläche nicht mehr als 1,5—2 mm abstehen (Abb. 301). Damit die Bürsten mit voller Fläche anliegen, müssen sie nach dem Aufsetzen der Schleiffläche angepaßt werden, indem man sie unter dem normalen durch den Halter ausgeübten Druck einschleift. Man zieht hierzu Schmirgelleinen unter der Bürste in der Drehrichtung der Maschine durch.

Nach dem Einschleifen der Bürsten müssen Kommutator, Bürstenhalter und Bürsten von dem Schleifstaub durch Ausblasen befreit werden. Poröse weiche Bürsten, in deren Lauffläche sich der Staub festsetzt, sind vor dem Ausblasen mit einem Glaspinsel nachzuwischen. Oft wird bei Bürstenfeuer den Bürsten Schuld gegeben, während die Sache in Wirklichkeit anders liegt. Von Rechts wegen soll man sich erst vergewissern, ob die Bürsten genau eingestellt und sauber eingeschliffen sind, ob der Kollektor sauber ausgekratzt und glatt ist, ob die Luftspalte zwischen Haupt- und Wendepolen gleich und die Wendepole richtig angeschlossen sind. Eine neu mit Bürsten beschickte Maschine soll man zunächst leer laufen lassen und wenn sie ruhig, ohne zu schlagen, läuft, langsam mit Strom belasten. Falls ein Fehler vorliegt, beginnen die Bürsten erst etwa nach einer Stunde zu feuern; vorher bot nämlich die noch rauhe Bürstenfläche einen hohen Übergangswiderstand, der durch das Einlaufen der Bürsten herabgeht. Wenn eine Gleichstrommaschine bei voller Belastung geringes „Perlfeuer“ an der ablaufenden Bürstenkante zeigt, so ist dies ganz ungefährlich. Bedenklich ist dagegen „Spritzfeuer“, auch wenn der Funke nicht lang ist; schon kleines Spritzfeuer greift den Kollektor an, zumal gelbliches „Zungenfeuer“. Durch Abdrehen des Kollektors kann man es nicht beseitigen; manchmal hilft es, wenn man die Bürstensorte ändert. Ist das Feuer gar grün, so verbrennt Kollektorkupfer und man muß den Kollektor abbauen. Bei Wechselstrommaschinen ist das Bürstenfeuer weiß mit bläulichem Schein und ungefährlich, weil trotzdem der Kollektor spiegelblank wird und die geringen Anfressungen an der ablaufenden Kante nichts schaden.

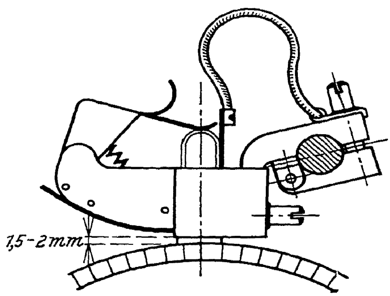


Abb. 301.
Richtiger Abstand des Führungskastens.

Wenn die Bürsten feuern, obwohl sie und der Kollektor ruhig laufen, so sucht man nach elektrischen Fehlern und mißt zunächst den Potentialabfall zwischen Bürste und Kommutator (das Bürstenpotential) und

zwar nachdem man die Maschine so weit entlastet hat, daß sie nahezu funkenfrei läuft.

Bei Generatoren pflegt die ablaufende Kante eine höhere Übergangsspannung als die anlaufende Kante zu zeigen, weil man diese Maschinen auf „Überkommutierung“ einstellt. Umgekehrt sind gelegentlich Motoren von mittlerer Leistung auf „Unterkommutierung“ eingestellt. Die höhere Überspannung der ablaufenden Kante begünstigt das Bürstenfeuer.

Auf Grund solcher Spannungsmessungen ändert man nun den Wendepol oder seine Erregung, bis die Maschine funkenfrei läuft. Falls aber die Spannungskurve gut ist und die Maschine trotzdem funkt, so probt man eine andere Bürstensorte und ersetzt z. B. die Elektrographitkohle durch eine „Hochgraphit“-Kohle. Wenn das Wechseln der Bürsten auch nicht hilft, so kann die Maschine einen der folgenden Fehler besitzen:

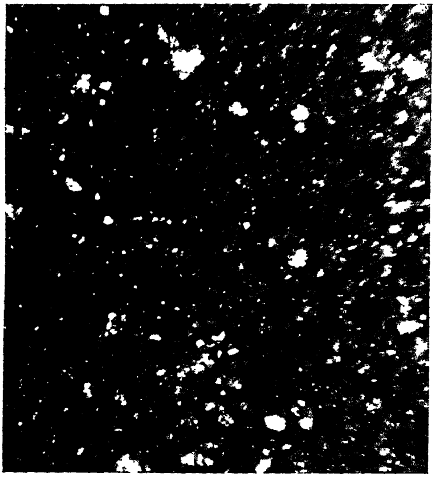


Abb. 302. Hartkohle-Bürste QS. V = 52.

1. Der Raum zwischen den Wendepolen, die „Neutrale“ ist zu eng;
2. das Eisen des Wendepols ist zu knapp bemessen;
3. die Ampere-Stabzahl der Wicklung ist zu hoch gewählt, so daß die Rückwirkung des Ankers stört; mit Kompensationswicklung würde die Maschine vielleicht sehr gut laufen.

Im Falle, daß eine neue Einstellung der Wendepole das Funken beseitigt hat, muß die Maschine sicherheitshalber einer Dauerprobe unterworfen werden. Oft läuft die Maschine während der ersten Stunden gut, dann aber immer schlechter. Hierfür können folgende Ursachen vorliegen:

1. Die Bürsten sind zu hoch belastet. Dann kann man entweder mehr Bürsten je Spindel aufsetzen oder die Bürsten verbreitern, falls Platz dazu vorhanden ist. Mit dem Verbreitern muß man sehr vorsichtig sein; dazu gehört genaue Fachkenntnis.

2. Der Kollektor ist zu knapp bemessen und wird heiß. Man kann

[1] Wenn man an der feuernden Bürste die Spannung mißt, so erhält man eine Funkenspannung, die für den vorliegenden Zweck keinen Wert hat, und nicht die wahre Kommutatorspannung.

dann „Kühlstacheln“ am Umfang anbringen, für jedes Segment eine Fahne. Am besten beseitigt man die Überhitzung, indem man den Kollektor teilt und die Teile durch Fahnen verbindet.

3. Bau oder Stoff von Kollektor, Bürstenapparat, Bürstenhalter können fehlerhaft sein. Wenn z. B. die Maße des Kollektor-Preßringes falsch sind, so kann sich der Kollektor andauernd verlagern, verziehen, unrund und fleckig werden. Dann muß man ihn auseinanderziehen und die Preßteller auf richtiges Maß drehen. Bei dem Bürstenapparat können die Halteringe zu schwach, die Sammelringe ungünstig angeordnet und das Ganze nicht genügend versteift sein. Diese Andeutungen mögen genügen.



Abb. 303. Hochgraphit-Bürste LFC 3. V =

Prüfung der Bürsten. Um die verschiedenen Bürstensorten zu kennzeichnen, bestimmt man ihr spezifisches Gewicht, ihre Härte (Brinellhärte), die Festigkeit und den elektrischen Widerstand. Um ihre Eignung für die verschiedenen Anwendungen zu finden, mißt man des weiteren ihren Reibungskoeffizienten und nimmt Stromspannungskurven auf. Wichtig ist ferner noch die Erprobung ihres Verhaltens gegen Kurzschluß. Die Mikrophotographie gibt Gefügebilder, welche dem geübten Auge wertvolle Aufschlüsse bieten. Unentbehrlich sind schließlich Versuche an der betreffenden Maschine, welche erst ein endgültiges Urteil ermöglichen.

Gefügebilder. Wie ich schon früher (S. 200) zeigte, eignet sich die Dunkelfeldbeleuchtung mit Ultropak besonders gut, um das feine Gefüge der Kohlebürsten zu enträtseln. Die folgenden Bilder Abb. 302 bis 304 habe ich mit dem Ultropakobjektiv 6,5× und dem Periplanokular 8× mittels der Aufsatzkamera gewonnen, also bei 52facher Vergrößerung. Abb. 302 ist Hartkohle QS, Abb. 303 hochgraphitische Bürste LFC 3, Abb. 304 Kupferkohle 3371 (mit Blaufilter aufgenommen), alle drei von Carbone. Abb. 305 ist Kupferbürste CuI, mit Ultropak 11× aufgenommen, also bei 88facher Vergrößerung, Abb. 306 Bronzekohle (Ultropak 22×, $V = 176$), beide von Gebr. Siemens & Co. Ich habe diese Proben aus meiner Sammlung ausgewählt.

Härtemessung. Der Schwede J. A. Brinell veröffentlichte 1900

ein Verfahren, die Härte dadurch zu messen, daß eine Kugel aus gehärtetem Stahl mit einem bestimmten Druck in die Oberfläche des Probestückes eingepreßt und die Größe des erzeugten Grübchens gemessen wird. Indem man die Belastung der Kugel in Kilogramm durch die Fläche der erzeugten Kugelkappe in Quadratmillimeter teilt, bekommt man die „Brinellhärte". Wenn P die Belastung in Kilogramm, D der Kugeldurchmesser und d der Durchmesser des Eindruckes in Millimeter ist, so ergibt sich die Brinellhärte H zu:

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}.$$



Abb. 304. Kupfer-Kohlebürste 3371 (Carbone). V = 52.

Der Durchmesser der Kugel beträgt in der Regel 10 mm bei einer Belastung mit 3000 kg. Für weichere Metalle wählt man die Belastung niedriger. Abb. 307 zeigt die von der schwedischen Gesellschaft Alpha[1] gebaute Brinellpresse in der Ausführung „Durando". In den Zylinder der senkrechten hydraulischen Presse wird das Öl mit einer Handpumpe a eingepreßt. Unten am Preßkolben sitzt der Halter b der Stahlkugel. Auf die Platte d, welche mit dem Handrad c verstellt wird, kommt das Probestück; die Platte läßt sich nach allen Seiten neigen. Der Kolben bewegt sich fast reibungslos im Zylinder und hält ohne Packung genügend dicht. Die geringe Ölmenge, welche am Kolben vorbeidringt, sammelt sich im Behälter e und wird von Zeit zu Zeit in den Ölbehälter des Zylinders zurückgebracht. Der von dem Kolben ausgeübte Druck wird am Manometer f abgelesen. Um die Angabe des Manometers jederzeit zu überwachen, wird ein zweiter kleinerer Kolben, welcher sich in einem kleineren, mit dem Preßzylinder in Verbindung stehenden Zylinder bewegt, mit Gewichten h belastet, welche dem Meß-

[1] Generalvertretung für Deutschland F. P. Dujardin & Co. in Düsseldorf.

druck entsprechen. Sobald dieser Druck erreicht ist, hebt sich der Balken mit diesen Gewichten und hält den Druck konstant. Durch Öffnen eines Ventiles hebt man den Druck auf. Zum Messen des Grübchens wird ein einfaches Meßmikroskop mit Okularteilung aufgesetzt, welches etwa zehnfach vergrößert (Abb. 308).

Dieselbe Gesellschaft Alpha baut auch das „Durometer“, bei welchem eine kegelförmige Spitze aus Diamant eingedrückt und die Tiefe des Eindruckes gemessen wird. Der Kegel hat einen Spitzen-



Abb. 305.
Kupferbürste CuI (Gebr. Siemens). V = 88.



Abb. 306.
Bronzekohle (Gebr. Siemens). V = 176.

winkel von 120°, wird zunächst mit 10 kg und dann mit 150 kg belastet. Die Vertiefung abzüglich der durch die 10 kg erreichten Tiefe wird an einer Meßuhr abgelesen, bei der eine Bewegung des Meßbolzens um 1 mm eine volle Umdrehung des Zeigers ergibt; 1 Teilstrich entspricht 0,01 mm. Weil ferner die Tiefe des Eindruckes fünfmal vergrößert auf die Meßuhr übertragen wird, bedeutet das Vorrücken um 1 Teilstrich 0,002 mm. Abb. 309 gibt eine Ansicht des Durometers, Abb. 310 einen Schnitt. Der Diamant ist bei *b* befestigt. Die Meßuhr *c* wird mit der Schraube *d* eingestellt. Nachdem man eine mitgelieferte Probeunterlage auf die Schraube *e* gelegt hat, dreht man die seitliche Kurbel bis zum Anschlag *f*, wodurch das auf der Rückseite des Apparates aufgelegte Gewicht in seine höchste Stellung kommt. Wenn man nun auf den Knopf *g* drückt, senkt sich das Gewicht mit einer am Ölregulator zweckmäßig

durch die Schraube i eingestellten Geschwindigkeit; die Mutter j sichert die Einstellung der Schraube i. Wenn die Geschwindigkeit zu groß ist, kann die Diamantspitze an hartem Material beschädigt werden; zu kleine Geschwindigkeit verlangsamt die Messung unnötig. Das Prüfstück wird bei k aufgelegt. Mit dem Handrade l hebt man die Probe, bis sie die Diamantspitze berührt, und dann weiter, bis der kleine Zeiger der Meßuhr auf Null steht; jetzt liegt der Hebel m ungefähr waagerecht, der große Zeiger steht ungefähr senkrecht und die Spitze ist mit 10 kg belastet. Nun dreht man die Teilung der Uhr so weit, daß der große Zeiger auf Null steht und löst mit dem Knopf g das 150-kg-Gewicht aus. Nachdem die Kurbel an die Ruhelage h gekommen ist, wird die Kurbel bis f zurückgedreht und der Ausschlag des Zeigers an den schwarzen Ziffern der Teilung abgelesen. Schließlich dreht man das Handrad l wieder zurück und gibt dadurch das Prüfstück wieder frei. Die ganze Messung kann in kaum einer halben Minute erledigt werden. Zur Brinellprobe kann man die Diamantspitze durch die Stahlkugel ersetzen[1].

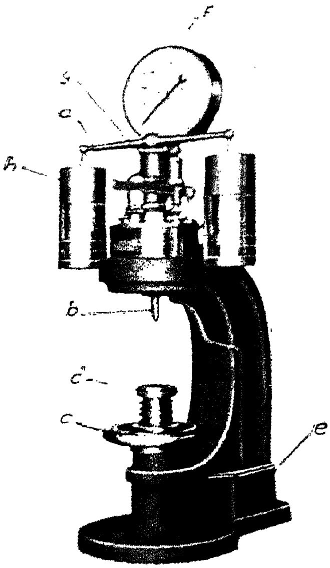


Abb. 307. Brinell-Presse für die Härteprüfung.

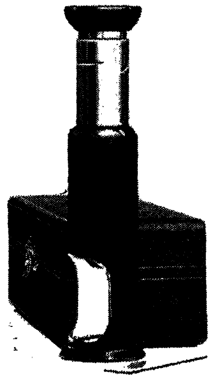


Abb. 308. Meßmikroskop.

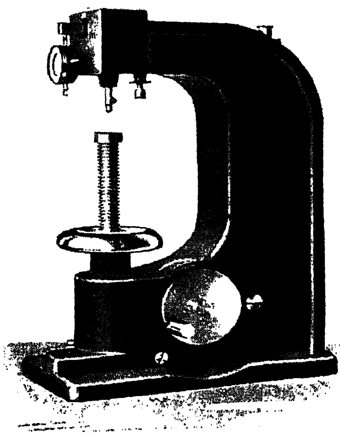


Abb. 309. Durometer.

Einfacher und billiger ist der „Fall-Härteprüfer" nach M. v. Schwarz. Er besteht aus einem Fallrohr, an dessen Fußende eine Stahlkugel federnd hängt und in dem ein schwerer Fallhammer fällt, sobald er von einer zangenartigen Vorrichtung losgelassen ist. Man setzt das

[1] „Durando" und „Durometer" sind von Dujardin, Düsseldorf, zu beziehen.

Rohr auf das Probestück, drückt auf einen Knopf und mißt nachher die eingeschlagene Grube mit einer Meßlupe mit Strichplatte (Abb. 311 u. 312). Durch Schwenken wird der Hammer in seine Anfangsstellung zurückgebracht, wo er durch den Fanghaken festgehalten wird.

Durch die Sprunghöhe eines freifallenden Hammers mit gerundeter Diamantspitze wird bei dem Rückprall-Härteprüfer die Härte ermittelt. Der Hammer wiegt etwa 20 g, die Fallhöhe 112 mm. In seiner höchsten Stellung wird der springende Hammer durch eine Fangvorrichtung gehalten. Man liest dann die Höhe an der Teilung ab[1]. Auf dem gleichen Grundsatz beruht der handliche und billige „Sklerograph", dessen Fallstange unten eine gehärtete Stahlkugel trägt.

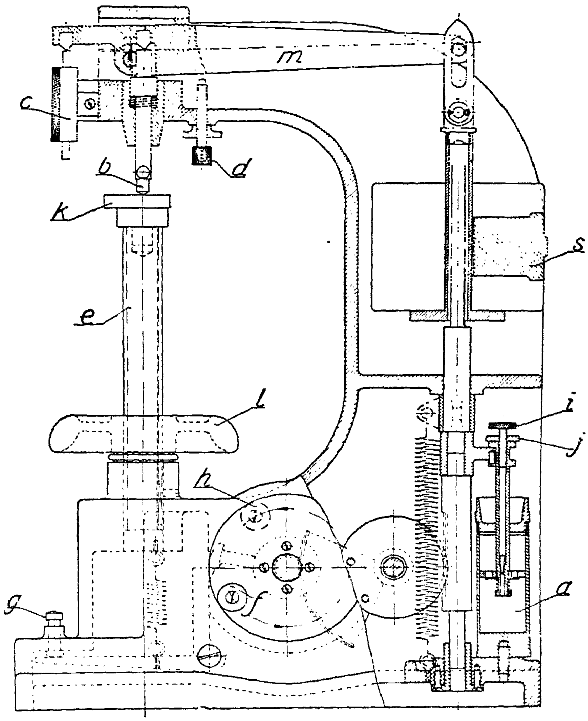


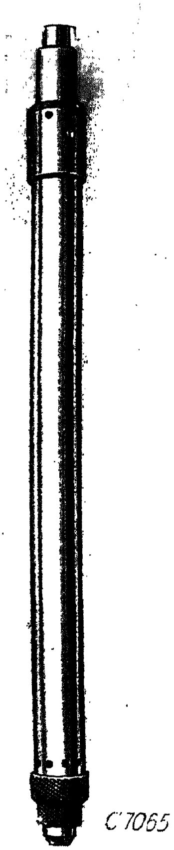
Abb. 310. Durometer.

Festigkeit. Die Festigkeit wird gewöhnlich mit dem Pendelschlagwerk bestimmt. Abb. 313 zeigt ein Pendelschlagwerk von Louis Schopper, Leipzig, welches zwei auswechselbare Pendel mit 10 und 40 cm/kg Arbeitsinhalt besitzt und zur Prüfung von Stäben in den Maßen 10 × 15 × 120 oder 5 × 10 × 60 mm dient. Die Anzeigevorrichtung besteht aus einem Schleppzeiger, der vor einer von 0—160° reichenden Bogenteilung schwingt. Durch eine besondere Teilung werden die Verluste durch Lagerreibung und Luftwiderstand berücksichtigt. Schopper liefert außer diesem Schlagwerk, welches zur Prüfung von Isolierstoffen gebaut wurde, auch Werke mit größerem Arbeitsinhalt.

Die Biegefestigkeit kann statisch mit dem Apparat Abb. 314 gemessen werden. Der Probestab von 10 × 15 × 120 mm wird auf

[1] Dre Fall-Härteprüfer nach M. v. Schwarz und der S. u. S.-Härteprüfer nach dem Rückprallverfahren werden von Reindl & Nieberding, Berlin SO 36, hergestellt.

zwei Stützen, die um 100 mm voneinander abstehen, gelegt und in der Mitte mit einem Druck bis 250 kg/cm^2 stoßfrei belastet. Im Augenblick des Bruches bleiben die Zeiger stehen und man kann in Ruhe den erreichten Wert des Druckes und der Durchbiegung ablesen.



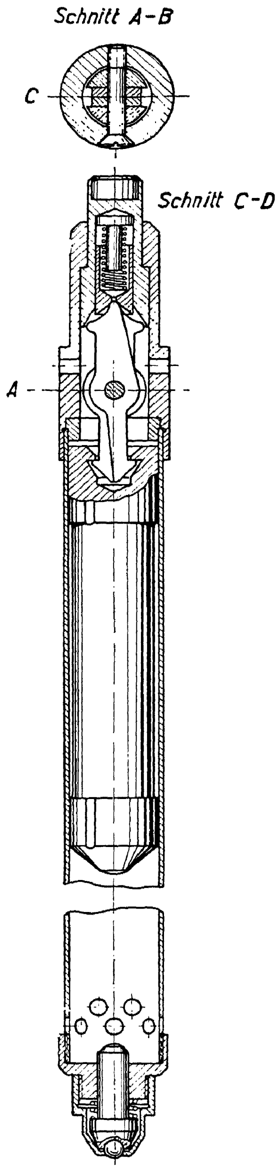


Abb. 311. Abb. 312.
Fall-Härteprüfer nach M. v. Schwarz.

Leitfähigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit der Bürste wird aus dem Spannungsabfall bei bekannter Stromstärke ermittelt (vgl. S. 150). Bei der im Laboratorium von Schunk & Ebe benutzten Anordnung[1] (Abb. 315) taucht die Lauffläche der Bürste etwa 5 mm tief in reines Quecksilber ein, welches mit dem einen Pol der Stromquelle verbunden ist. Der andere Pol wird an das Ende der Bürstenlitze geklemmt. Die Stromstärke wird mit dem Amperemeter *A* gemessen. Um den Spannungsabfall längs der Bürste zu messen, wird der Pluspol des Millivoltmeters ebenfalls am Kabelschuh angeklemmt, der Minuspol dagegen mit einer blanken Metallspitze an die gewählte Stelle der Kohle und zwar bei 1, 2 und 3 angedrückt. Wenn der ganze Kopf der Kohle verkupfert ist, mißt man etwas tiefer bei 2a. Abb. 316 zeigt die ganze Meßeinrichtung. Auf der Schalt-

[1] Schunk & Ebe-Blätter, 2. Heft, S. 8 (August 1923).

tafel ist rechts das Amperemeter, links das Voltmeter angebracht, darunter die zugehörigen Umschalter auf verschiedene Meßbereiche. Auf dem Tisch steht in der Mitte ein Holzklotz mit dem Quecksilbertrog. Der Meßstrom wird von einem 10-Volt-Umformer erzeugt und auf der Rückseite der Tafel zugeführt.

Reibung. Die Reibungszahl der gleitenden Bewegung ist das Verhält-

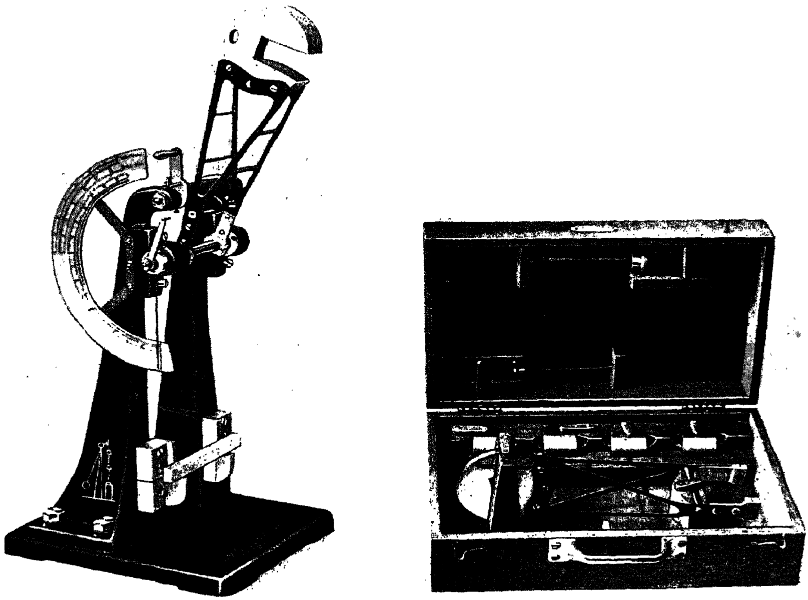


Abb. 313. Pendelschlagwerk.

nis der Tangentialkraft R zur Normalkraft P (Abb. 317). Um diese einfache Zahl zu ermitteln, muß man genau eingepaßte Bürsten auf einem sorgfältig geglätteten, genau ausgerichteten und erschütterungsfrei gelagerten Ring bei konstanter Temperatur schleifen lassen. Abb. 318 zeigt die Änderung der Reibung mit der Umfangsgeschwindigkeit für die drei großen Bürstengruppen. Diese Werte haben jedoch für die tatsächlichen Verhältnisse nur bedingten Wert. In Wirklichkeit ist die Reibung der Bürsten bei den Maschinen größer. Man bestimmt deshalb praktisch den Reibungskoeffizienten, indem man eine größere Anzahl Bürsten auf einem Kollektor laufen läßt, die Leistung des Antriebsmotors einmal bei aufgesetzten und zweitens bei abgehobenen Bürsten mißt und den Unterschied ermittelt. Hierbei ist die bekannte Tatsache

zu beachten, daß die Reibung kleiner ist, wenn die Bürsten unter Strom laufen. Die einfachste Erklärung hierfür ist, daß der Strom feinste Teilchen von der Bürste löst, welche den Kollektor schmieren[1].

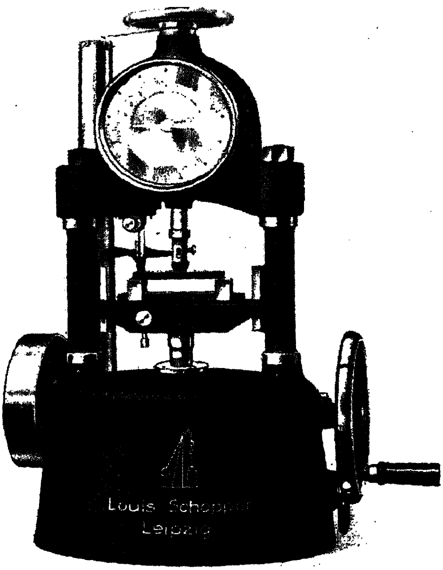


Abb. 314. Biegefestigkeitsprüfer.

Einen wesentlichen Einfluß üben auf die tatsächlichen Reibungsverluste die Schwingungen und Stöße aus, welchen beim Laufen der Maschine die Berührungsstelle der Bürste ausgesetzt ist. Die Trägheit der gewöhnlichen Meßgeräte ist viel zu groß, als daß sie auf sehr kurze Stöße ansprechen. Im Prüffeld der Ringsdorffwerke hat deshalb Schröter einen sehr leichten halterähnlichen Apparat konstruiert, der auf einen gewöhnlichen Halterbolzen aufgesetzt werden kann und etwa zwei Stunden lang den Reibungswert aufschreibt (Abb. 319)[2]. Nach den zwei Stunden kann man, ohne die Bürste abzunehmen, den Registrierstreifen erneuern. Mit dieser Vorrichtung wurde unter anderen der Linienzug Abb. 320 aufgeschrieben, welcher recht deutlich die Beruhigung der Bürste bei Stromdurchgang beweist (*a* stromloser Lauf, *b* unter Strom). Nachdem die Maschine in richtigen Gang gekommen ist, fließt die Kurve zu einem breiten Band zusammen,

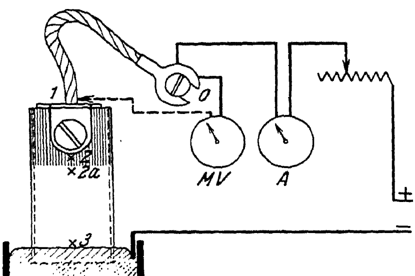


Abb. 315. Messen des elektrischen Widerstandes einer Bürste.

[1] Man kann wegen der verminderten Reibung sofort hören, ob eine Maschine stromlos läuft oder belastet ist. Bahnmotoren kreischen, wenn sie stromlos laufen. Mit dieser eigenartigen Wirkung des Stromes hängt es auch zusammen, daß die Lauffläche der stromführenden Bürste bald spiegelblank wird, dagegen eine stromlose Bürste sich sehr langsam einläuft.

[2] In Abb. 319 bedeutet *a* das Uhrwerk für den Vorschub, *b* die Blattfeder und *c* die Transportschiene.

das aber, wenn man den Lauf des Registrierstreifens beschleunigt, wieder aufgelöst wird und einzelne starke Stöße aufzeigt (*b* in

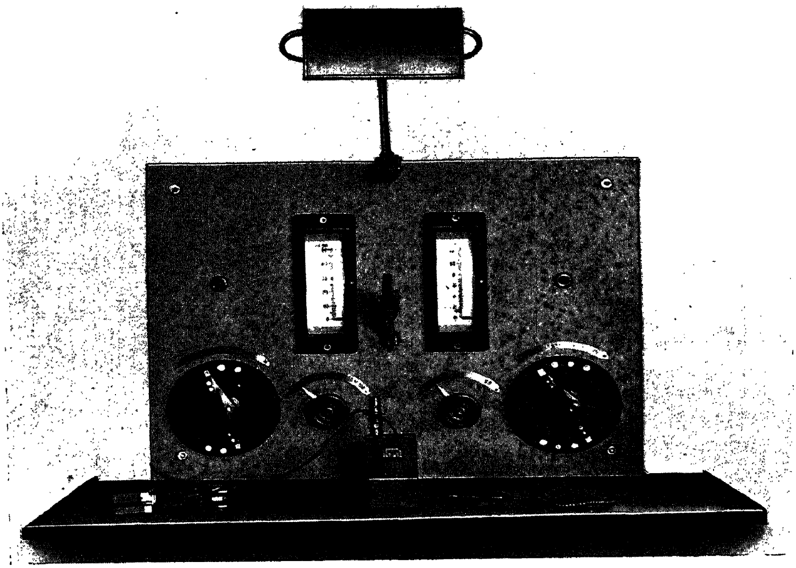


Abb 316. Einrichtung zum Bestimmen der Leitfähigkeit von Bürsten.

Abb. 321), welche für den unruhigen Lauf der betreffenden Bürste verantwortlich sind[1].

Um das Verhalten einer Kommutatorbürste bei veränderlicher

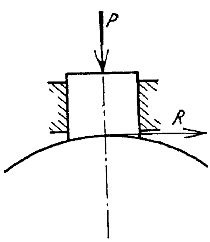


Abb. 317.

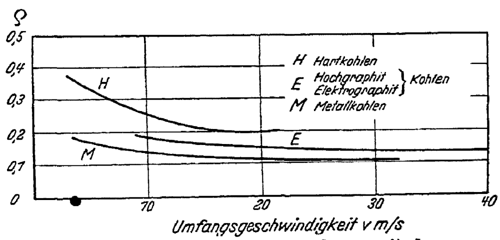


Abb. 318. Änderung der Reibung mit der Umfangsgeschwindigkeit.

Kantenspannung im Lauf zu untersuchen und hierbei die im kurzgeschlossenen Stromkreis der Bürste auftretenden Verluste genau

[1] Die Zeit läuft bei den Kurven von rechts nach links.

zu messen, erdachte sich J. Kozisek[1] eine Prüfeinrichtung, die im wesentlichen aus einem läufergespeisten Drehstrommotor besteht. Das Netz wird an drei Schleifringen angeschlossen, indem man einen Regler einschaltet, um einfach die Schleifringspannung und auch die Frequenz ändern zu können. Der Anker erhält eine normale Dreiphasenwicklung, die an die Schleifringe angeschlossen ist. Hinzu kommt im Anker eine am Nutengrund oder Nutenkopf untergebrachte Trommelwicklung, die an einen normalen Kommutator angeschlossen wird. Auf diesem schleifen die zu untersuchenden Bürsten. Sie werden gleichmäßig auf dem Umfang des Kommutators verteilt. Zweckmäßig ist der Bürstenhalter drehbar zu machen, damit man jede Bürste bequem einstellen und beobachten kann, außerdem als Doppelhalter mit gegenläufiger Verschiebung auszuführen, so daß man jede Bürste zusätzlich mit

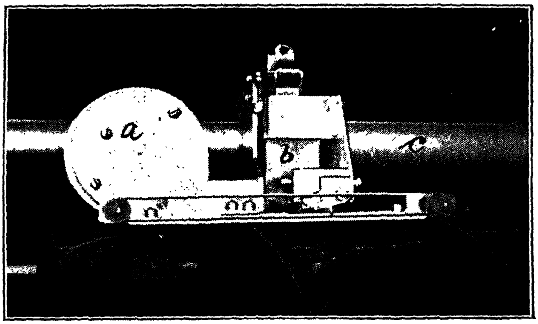


Abb. 319.
Schreibender Reibungsmesser auf einem Schleifring.

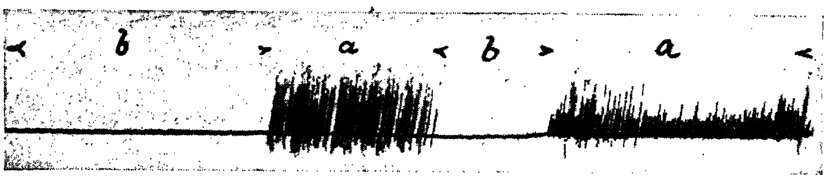


Abb. 320. Beruhigung der Bürsten bei Stromdurchgang. *a* stromlos, *b* unter Strom.

Strom belasten oder den Einfluß der Bürstenstaffelung einfach untersuchen kann. Der Ständer erhält eine kurzgeschlossene Phasen- oder Käfigwicklung. Wenn dieser Motor bei gehobenen Kommutatorbürsten mit veränderlicher Spannung (bei konstanter Frequenz) gespeist wird, so erhält man die Kurve *a* (Abb. 322), welche zeigt, wie die Wattaufnahme mit der Schleifringspannung ansteigt. Indem man sie vorsichtig bis zur Ordinatenachse verlängert, kann man mit hinreichender Genauigkeit die Eisenverluste und die mechanischen Verluste der Maschine feststellen. Nun setzt man die zu prüfenden Bürsten auf und schleift sie gut ein. Durch die Bürstenreibung und die Kurzschlußströme wird die Wattaufnahme erhöht (Kurve *b*). Der Höhenunterschied

[1] Siemens-Z. Bd. 8 S. 596 (1928).

beider Kurven ergibt bereits mit genügender Annäherung die Summe der Verluste durch Reibung und Kurzschluß. Man darf ferner ungefähr



Abb. 321. Unruhiger Gang einer Bürste.

annehmen, daß die Verluste durch Reibung von den Verlusten durch Kurzschluß unabhängig sind. Dann darf man die Kurve *a*, wie Abb. 322 zeigt, parallel verschieben und erhält nun jeden der beiden Verluste für sich. Die Genauigkeit dieser Messung läßt sich steigern, indem man die mechanischen und Eisenverluste beim Bau der Einrichtung möglichst klein macht. Bei stillstehender Maschine und offenem Ständer kann man die Segmentspannung und ihre Abhängigkeit von der aufgedrückten Schleifringspannung bei verschiedenen Frequenzen festlegen. Indem man die Spannung an den Bürstenkanten allmählich steigert, findet man die obere Grenze der Belastung, unterhalb der das Bürstenfeuer unbedenklich und der Verlust durch die Kurzschlußströme erträglich ist. Des weiteren kann man den Einfluß der Drehzahl und, indem man eine kleine Heizvorrichtung unterhalb des Kommutators anbringt, auch den Einfluß der Temperatur prüfen.

Stromspannungskurven. Durch Aufnahme von Stromspannungskurven erfährt man Näheres über den Spannungsabfall an der Berührungsstelle der Bürste. Diese Übergangsspannung beruht freilich auf dem Zusammenwirken mehrerer Einflüsse. Die metallische Leitung zwischen den Laufflächen von Ring und Bürste kann zeitweise durch einen Lichtbogen ersetzt werden und es können unter dem Einfluß von Feuchtigkeit auch elektrolytische Vorgänge ebenso wie die Lichtbogenentladung auftreten und Polarisation verursachen. Von dem polaren Verhalten der Plus- und Minusbürsten war schon auf S. 292 die Rede; dieser Unterschied in den Übergangsspannungen ist an einer blanken reinen Ringoberfläche verhältnis-

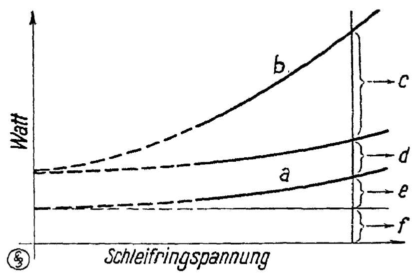


Abb. 322. Wattaufnahme bei wachsender Spannung (Kozisek).

mäßig klein. Deshalb begnügt man sich in der Praxis damit, den Summen-Spannungsabfall anzugeben. Abb. 323 deutet eine zur Aufnahme von Stromspannungskurven geeignete Anordnung an. Auf einem Ring schleifen nebeneinander zwei Bürsten, denen Gleichstrom zugeführt wird. Die Übergangsspannung e hängt ab vom Strom i,

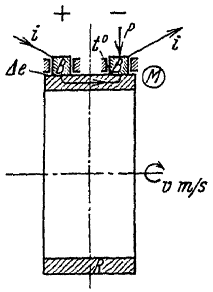


Abb. 323. Anordnung zur Aufnahme von Strom-Spannungskurven.

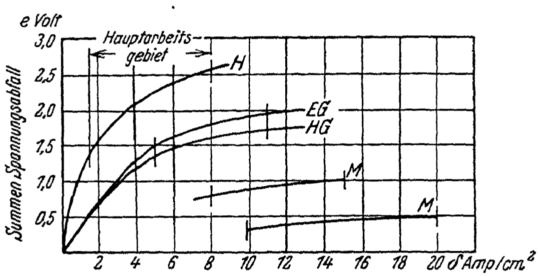


Abb. 324.
Einfluß der Bürstensorte auf den Spannungsabfall.

dem Druck p, mit welchem die Bürste angepreßt wird, von der Umfangsgeschwindigkeit v, dem Stoffe des Ringes R und der Bürste B, der Temperatur t und dem umgebenden Medium M. Abb. 324 zeigt Stromspannungskurven, die auf demselben Ring mit verschiedenen Bürstensorten unter sonst gleichen Bedingungen aufgenommen wurden. Man sieht, daß für Hartkohlen die Spannung wesentlich höher liegt als für Graphitkohlen oder gar metallhaltige Kohlebürsten. Abb. 325 stellt die Übergangsspannung in ihrer Abhängigkeit vom Druck dar. Die Umfangsgeschwindigkeit hat auf die absolute Größe der Übergangsspannung keinen Einfluß.

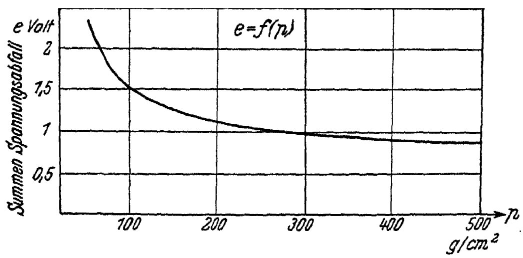


Abb. 325.
Einfluß des Druckes auf die Übergangsspannung.

Nicht so einfach wie am Schleifring ist die Messung der Übergangsspannung am Kommutator, wo die Bürste nicht nur den Strom zu leiten, sondern auch zu wenden hat[1]. Zunächst muß man bei Messungen an der Maschine feststellen, an welcher Stelle des Kommutators die Bürsten im Betriebe stehen. Hierzu muß man erst die Neutrale ermitteln. Am einfachsten mißt man zu diesem Zweck die Übergangs-

[1] Siehe auch Neukirchen, J.: Die Kommutatorbürste als Wackelkontakt. Elektrotechn. Z. Bd. 50 S. 55 (1929) und F. Punga und A. Schliephake: Elektrotechn. u. Maschinenb. Bd. 45 S. 201.

spannung, während die Maschine als Dynamo leer läuft. Man mißt an der auflaufenden und der ablaufenden Kante der Bürste und die Neutrale ist gekennzeichnet durch gleiche Ausschläge des Spannungsmessers an den beiden Kanten. Man verfährt meistens so, daß man zwei Metallspitzen gleichzeitig auf dem Kommutator schleifen läßt und zwar um die Bürstenbreite voneinander entfernt. Streicht man nun über den leerlaufenden Kommutator, so kommt man an eine Stelle, wo die Spannung durch Null hindurchgeht; hier heben sich die Segmentspannungen gegenseitig auf, hier also liegt die Neutrale.

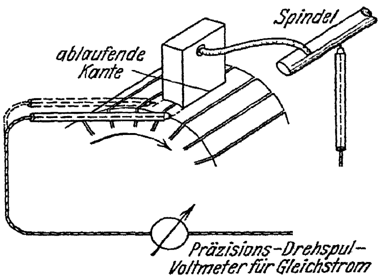


Abb. 326.
Messen der Übergangsspannung.

Wenn man jetzt die Übergangsspannung messen will, so darf die eine Spitze nicht auf die Bürste selbst gedrückt werden, damit nicht durch veränderten Druck die Übergangsspannung geändert wird; die andere Spitze wird leicht an den sich drehenden Kommutator angelegt (Abb. 326). Die gewöhnlich verwendeten Präzisions-Drehspul-Voltmeter (mit einem Meßbereich von 3 Volt) zeigen nur den zeitlichen Mittelwert der schwankenden Gleichspannung und nicht den sich darüber lagernden Wechselstrom von hoher Wechselzahl an. Schaltet man

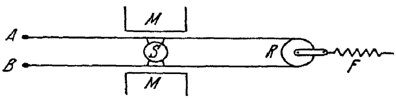
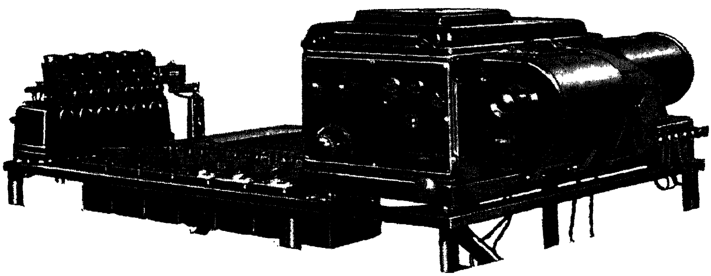


Abb 327. Oszillographenschleife.


Abb. 328. Oszillograph von S. & H.

parallel zum Gleichstrommesser einen Wechselstrom-Spannungsmesser, welcher den Effektivwert der Spannung mißt, so zeigt dieser eine höhere Spannung an, welche der Wahrheit schon näher kommt. Der wirkliche Verlauf der Spannung wird durch den Oszillographen aufgezeichnet. Bei dem Oszillographen nach Blondel-Duddell besteht die Galvanometerspule, damit die Trägheit möglichst gering ist, aus einer einzigen

Windung, der Schleife AB (Abb. 327), welche über einer Rolle R geführt ist und durch die Feder F straffgehalten wird. Die Schleife ist den Polen des Magneten MM sehr nahe; wenn sie vom Strom durchflossen wird, so werden ihre beiden Hälften in entgegengesetztem Sinne abgelenkt und das zwischen ihnen befestigte Spiegelchen S gedreht. Abb. 328 gibt eine Ansicht des von Siemens & Halske gebauten Oszillographen. Links ist der durch Gleichstrom erregte Magnet sichtbar; zwischen seinen Polschuhen stehen zwei Säulen, welche jede eine Meßschleife enthalten. Die mit photographischem Papier zu bespannende Trommel

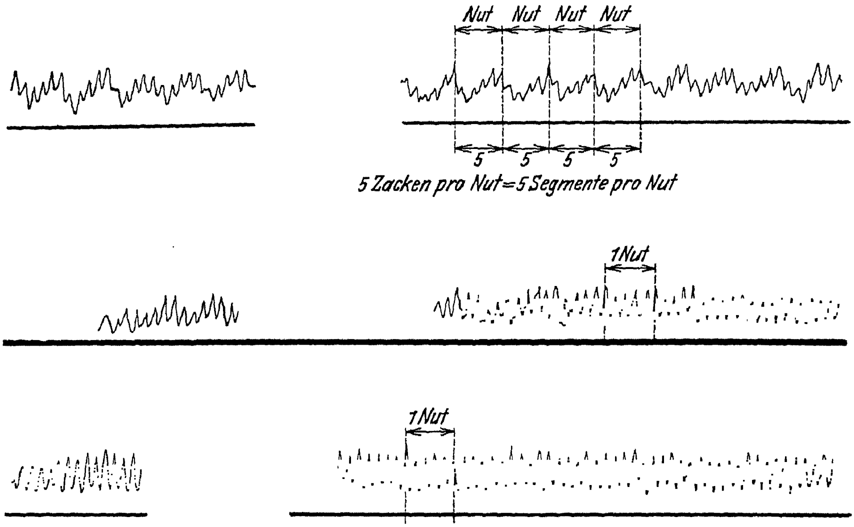


Abb. 329. Oszillogramme der Übergangsspannung am Kommutator.

ist rechts vorn sichtbar. Als Lichtquelle dient eine Bogenlampe. Bei der üblichen Umdrehungsgeschwindigkeit entspricht 1 mm auf dem Papier rund $^1/_{5000}$ Sekunde.

Als Beispiel gibt W. Heinrich[1] die Oszillogramme, welche er an einem Gleichstrommotor von 7,3 kW, 220 Volt, 39 A und 600 U/min aufgenommen hat; sein Anker trug 32 Nuten mit 5 Kollektivsegmenten je Nut. Die Segmentteilung war 3,5 mm, die Lauffläche der Bürste 7 × 30 mm. Um eines funkenfreien Laufes willen waren die Bürsten aus der Neutralen herausgeschoben. Die im Oszillogramm sichtbare Wellenspannung ergibt sich durch die Übereinanderlagerung einer Gleichspannung und einer Wechselspannung. Form, Größe und Anzahl der Schwankungen sind durch die Nutung des Ankers, die Zahl der Anschlüsse je Nut und die magnetischen Verhältnisse der kommutierenden Nut gegeben. Im Oszillogramm Abb. 329 sind die Nuten und

[1] Das Bürstenproblem, S. 96.

die je Nut angeschlossenen fünf Segmente ausgeprägt. Jeder vollen Zacke entspricht die Wanderung des Kommutators um ein Segment. Indem der Kommutator wandert, wiederholt sich bei jedem Segment die schlagartige Steigerung der Belastung und bewirkt dadurch besonders bei kleinen Maschinen ohne Wendepole, daß sich die Segmentteilung auf der Lauffläche der Bürste abbildet.

Im allgemeinen wird man sich mit dem Drei-Volt-Gleichstrominstrument begnügen müssen, weil es leicht mitzuführen und verhältnismäßig robust ist. Die Bürstenenergie errechnet sich einfach, indem man den Mittelwert aus drei Spannungsmessungen an drei Punkten der Bürste nimmt und mit dem Strom je Bürste multipliziert. Viele hundert Messungen ergaben, daß für hochgraphitische Bürsten die günstigste Spannungskurve bei etwa 20%iger Überkommutierung erhalten wird, während für elektrographitierte Bürsten ein mehr geradliniges Potential die besten Kommutierungsverhältnisse liefert. Eine der Einschränkungen, denen diese Berechnung unterworfen ist, liegt darin, daß bei der Messung die Bürste nirgends funken darf und ruhig laufen muß.

Durch Messen der Übergangsspannungen kann man auch prüfen, inwieweit bei einer Anzahl parallel geschalteter Bürsten die Belastungen gleich sind. Es ergeben sich immer erhebliche Unterschiede, so daß man bei den großen mit sehr vielen Bürsten ausgerüsteten Maschinen von vornherein eine Überlastung mit etwa 25% in Rechnung setzen muß. Wenn eine Bürste übermäßig belastet wird, so beginnt sie zu glühen oder zum mindesten fangen die Litzen zu verglühen an, was unter allen Umständen vermieden werden muß. Je niedriger man von vornherein die Stromdichte an den Laufflächen der Bürsten wählt, um so sicherer ist eine gleichmäßige Stromverteilung.

Gleichzeitige Messung der Momentanwerte von Übergangswiderstand und Reibung. Um den Tangentialdruck der Schleifbürste auf ihren Halter und damit die Reibung hinreichend trägheitslos aufzuzeichnen, hat F. Schröter[1] im Prüffeld der Ringsdorffwerke einen Druckmesser gebaut, welcher die Ladungen benutzt, welche durch Druck auf den Seitenflächen eines passend geschnittenen Quarzkristalles entstehen. Ein solcher Quarzkristall steuert das Gitter einer Elektronenröhre, deren Anodenstrom nach geeigneter Verstärkung durch den Oszillographen aufgezeichnet

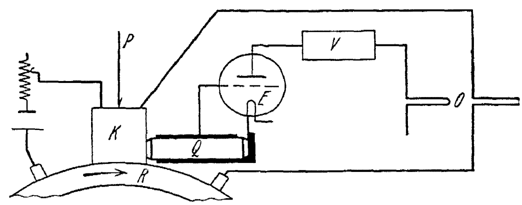


Abb. 330. Druckmesser nach Schröter.

[1] Zur Physik des Schleifkontaktes II. Arch. Elektrotechn. Bd. 25 (1931) S. 489.

wird. Wie Abb. 330 andeutet, stützt sich der Schleifkontakt K unmittelbar gegen den Quarzkristall Q mit seinen zwei leitenden Belegen; E ist die Elektronenröhre, V der Verstärker und O der Schleifenoszillograph.

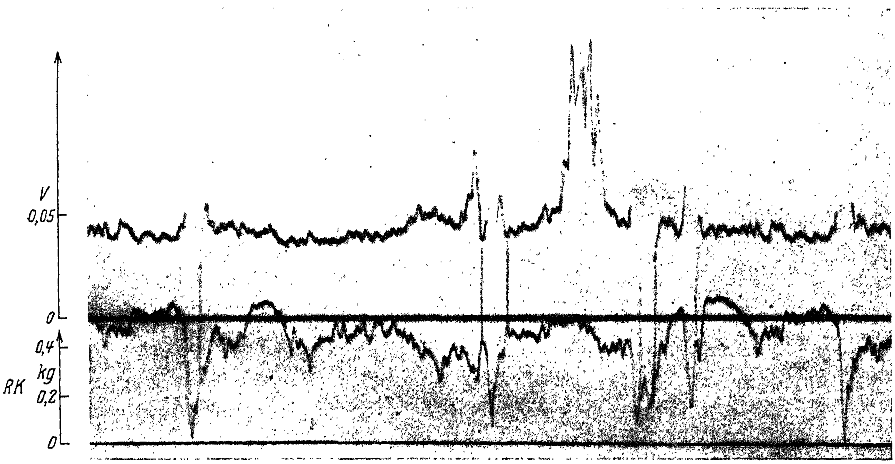


Abb. 331. Oszillogramm einer ratternden Bürste.

Gegen den Schleifring R wird die Bürste K mit dem Druck P angepreßt. Die Empfindlichkeit betrug 2 Milliampere für 100 g tangentialen Reibungszug, was einen Ausschlag von 4 mm auf dem Oszillogramm ergab. Der unverzerrt wiedergegebene Meßbereich war durch die

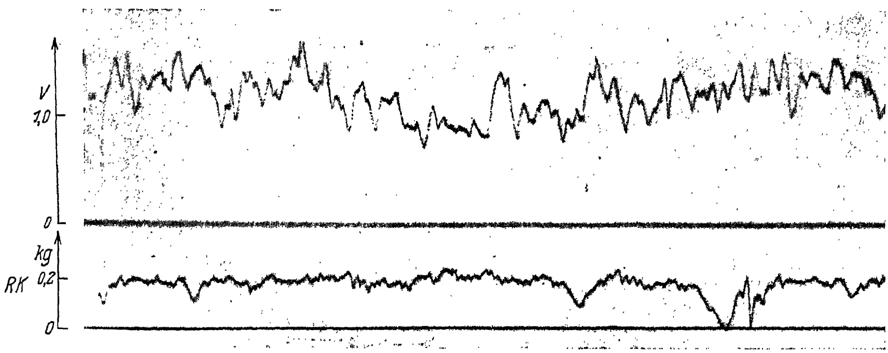


Abb. 332. Oszillogramm einer ruhigen Bürste.

Charakteristik der Elektronenröhre auf Schwankungen von etwa 800 g begrenzt. Als Beispiel ist in Abb. 331 das Oszillogramm einer ratternden Bürste und in Abb. 332 der ruhige Kontakt einer elektrographitierten Bürste mitgeteilt. Zwischen der Übergangsspannung und der Reibung ist kein deutlicher Zusammenhang zu erkennen.

Schleifbügel aus Kohle. Ebenso wie zum Abnehmen des Stromes von Schleifringen eignet sich die Kunstkohle auch für den Bahnbetrieb, um von der Oberleitung den Strom abzunehmen. Der Dreikantschleifbügel von Conradty wird statt aus aneinandergereihten Segmenten (Modell J) jetzt aus einem Stück gefertigt (Modell C); gleichzeitig ist sein Gewicht auf etwa 5 kg verringert worden. Der C-Bügel bestreicht ungehindert mit seiner ganzen Auflagefläche den Fahrdraht und nutzt sich gleichmäßig ab. Weil seine Drehachse exzentrisch gelagert ist, so kann eine bestimmte Fläche an den Fahrdraht angelegt werden. Im Gegensatz zum Aluminiumbügel bekommt durch den Kohlenbügel der Fahrdraht keine Riefen, sondern wird spiegelblank; auch das unangenehme Surren und die Störungen des Rundfunkempfanges sollen durch den Kohlen-Schleifbügel beseitgt werden.

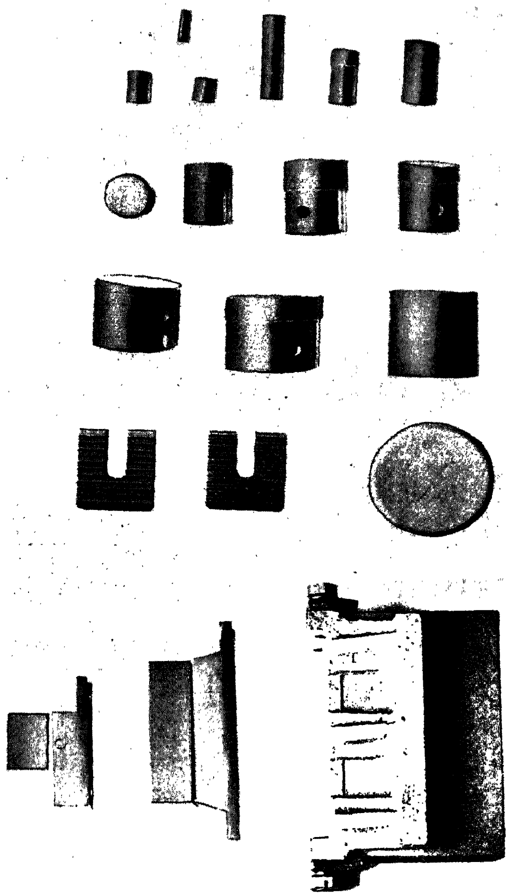


Abb. 333. Kontaktkohlen.

Kontaktkohlen für Anlasser, selbsttätige Ausschalter, Kontroller, Relais usw. werden z. B. von Carbone in dreierlei Sorten geliefert. Die Sorte A 42 ist eine sehr dichte Kohle von mittlerer Leitfähigkeit. Sorte X ist im elektrischen Ofen graphitiert, leitet gut und widersteht den Zerstörungen durch den Öffnungsfunken gut. Die Sorten KK 3 und KK 4 sind Kupfer-Graphitkohlen und für sehr starke Ströme bestimmt, z. B. für Zellenschalter. Als Kontakt und Unterbrecher für Magnetzünder von Kraftwagen eignet sich dagegen am besten die Hart-

kohle QS, weil hier die Extraströme gewöhnlich hoch sind und die heftigen Erschütterungen beim Fahren auf unebener Straße eine sehr feste Kohle verlangen. Abb. 333 zeigt eine Anzahl Kontaktkohlen, die mir von den Ringsdorff-Werken zugesandt wurden. Die beiden gezahnten Stücke in der vierten Reihe hat man versuchsweise an den Enden von metallischen Schaltstücken angebracht, damit der beim Auseinanderreißen entstehende Lichtbogen das Metall nicht zum Schmelzen erhitzt und „Schmelzperlen" bildet. Das runde Stück rechts davon besteht aus metallhaltiger Kohle für hohe Strombelastung. Die Rundkohlen sind für Aufzugsschalter bestimmt, die anderen kleineren Kohlen für andere Schaltapparate; die verkupferten Enden werden in die Klemmfassungen eingeschraubt und nötigenfalls durch einen Stift gesichert. Die unterste Reihe zeigt Kontaktkohlen in Fassung und zwar wird das große Stück rechts als Schleifstück in großen Betrieben verwendet, um von Kupferkopfschienen den Strom abzunehmen.

Sechzehntes Kapitel.

Elementkohlen, Mikrophonkohlen, Heizwiderstände und sonstige Anwendungen der Kunstkohlen.

A. Elementkohlen (Batteriekohlen).

Am Schlusse des Buches kehre ich zum Anfang zurück, zu den galvanischen Elementen, für welche Bunsen vor bald einem Jahrhundert feste gut leitende Kunstkohle herstellte und damit den Grund für die gewaltige Industrie der künstlichen Kohlen legte. Das Bunsenelement (Abb. 334) war noch zu meiner Schülerzeit die wichtigste Stromquelle für größere Experimente. Wenn ein nach damaligen Begriffen starker Strom nur kurze Zeit gebraucht wurde, so war das Tauchelement (Abb. 335) mit Chromsäure als „Depolarisator", welches wir ebenfalls Bunsen verdanken, viel bequemer, weil die sehr unangenehmen und schädlichen nitrosen Gase, welche die Salpetersäure gibt, vermieden wurden und auch das peinliche Auseinandernehmen und Reinigen nach dem Gebrauch fortfiel. Auch heute, im Zeitalter der elektrischen Zentralen, die überallhin Strom liefern, und des bequem speichernden Akkumulators, sind galvanische Elemente noch von großer praktischer Bedeutung, und zwar mit Braunstein als Depolarisator (Leclanché-Elemente) im Fernmelde-

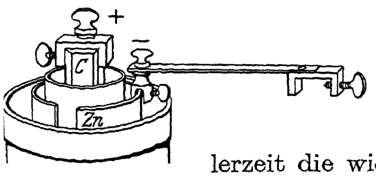
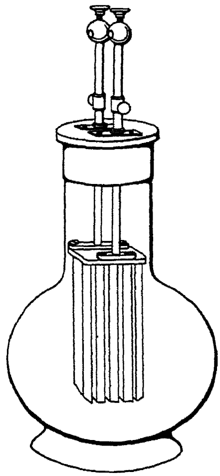


Abb. 334. Bunsenelement.

wesen, im Rundfunk (Anodenbatterien) und für Taschenlampen. Obwohl die Stromkosten überaus hoch sind, wenn man die elektrische Energie durch Oxydation von Zink im galvanischen Element erzeugt, so ist hier die Bequemlichkeit der „Trockenelemente" mit verdicktem Elektrolyten von ausschlaggebender Bedeutung.


Abb. 335. Chromsäureelement.

Ursprünglich sägte Leclanché sich aus einem guten Naturbraunstein Platten, dann umgab er in einer porösen Tonzelle eine Platte aus Retortenkohle mit einem Gemenge von zerkleinertem Braunstein und Retortenkohle, und schließlich kam er zur heutigen Form, indem er um einen Stift aus Kunstkohle das Braunsteingemisch preßte.

Bei den in Deutschland üblichen Trockenelementen dient die becherförmige Zinkelektrode zugleich als Behälter. Der schmale Raum, den in ihm die „Puppe" läßt, wird von dem durch Mehl verdickten Elektrolyten ausgefüllt. Abb. 336 und 337 zeigen eine einfache von Hand bediente Puppenpresse. Der Hebel, welcher an dem Handgriff niedergedrückt und beim Loslassen durch ein gußeisernes Gegengewicht rasch gehoben wird, trägt unten einen Stahlstift (von 5,7 mm Dicke); ein Stempel aus Hartholz ist über den Stift geschoben und seitlich durch eine Bandfeder gehalten. Das Braunstein-Graphitgemisch wird auf die in den Tisch eingelassene Steinform gehäuft, in ihre Höhlung mit der Hand eingedrückt und mit dem Stempel zunächst mäßig zusammengepreßt. Dann läßt man den Hebel los, hält aber den Stempel fest und setzt in seine Höhlung den Kohlenstift (von 5,9 mm Dicke) ein. Ein kräftiger Schlag mit dem Hebel treibt nun den Kohlenstift in die Masse und preßt die Puppe fertig. Schließlich drückt man auf den unteren Handgriff und hebt mit dem Ausstoßer den fertigen Preßling heraus. Er wird des weiteren mit Gaze oder Papier umwickelt und mit Faden verschnürt[1]. Abb. 338 zeigt Zink-

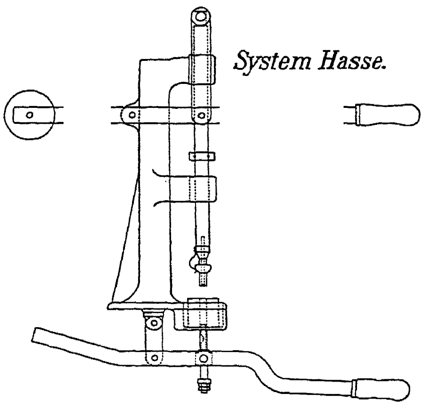
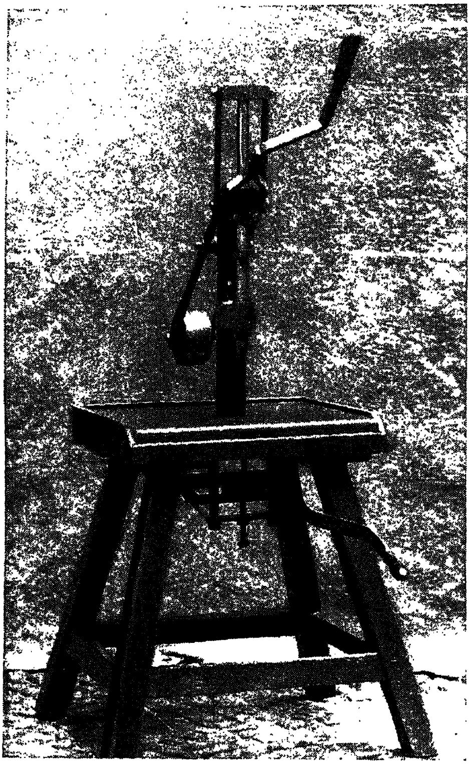


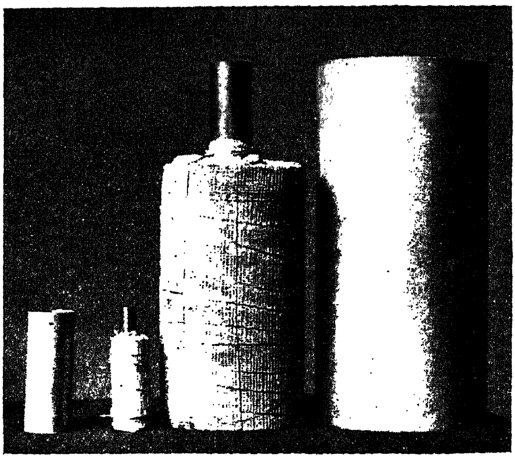
Abb. 336.

[1] Bei den Pertrix-Batterien, welche als Elektrolyten nicht Chlorammonium, sondern Chlormagnesium verwenden, wird die Puppe nicht gewickelt, sondern in eine Art Kollodiumlösung getaucht.


Abb. 337. Puppenpresse 300.

becher und Puppe für ein kleines und ein großes Trokkenelement[1]. Auf das freie mit Paraffin getränkte Ende des Stiftes wird schließlich eine Messingkappe aufgedrückt, um hier den stromleitenden Kupferdraht oder Messingstreifen anzulöten. Abb. 339 zeigt die Bestandteile einer aus drei hintereinander geschalteten Elementen bestehenden Taschenbatterie. In den Anodenbatterien sind eine große Zahl solcher kleinen Elemente hintereinander geschaltet, z. B. für die 90-Volt-Batterie 60 oder 65 Stück.

Obwohl ein geschickter Arbeiter erstaunlich schnell recht gleichmäßige Puppen preßt, verdrängt auch hier die Maschine immer mehr die menschliche Arbeit. Abb. 340 stellt eine Puppenpresse von Mayer Levy dar. Bei ihr wird die Masse aus dem Mischkasten in eine oben offene Form geschaufelt. Nach Auflegen des Deckels schiebt ein Stopfer von links die Masse aus jener Mulde in die Preßform; ein zweiter Stempel drückt dann von rechts den aus seinem Kasten herabgeglittenen Kohlenstift ein. Die durch beide Stempel fertiggepreßte Puppe wird schließlich ausgestoßen. Die Länge der Puppe wird


Abb. 338. Becher und Puppen.

[1] Die Puppen für die großen Elemente werden mit hydraulischen Pressen hergestellt.

durch Drehen einer Schraube am linken Stopfer, die Endstellung des Kohlenstiftes ebenso am rechten Stopfer geregelt. Die Maschine liefert stündlich bis 2000 Puppen.

Jährlich werden viele Hundert Millionen Trockenelemente erzeugt, in Deutschland allein etwa $^1/_2$ Milliarde, noch mehr in den Vereinigten

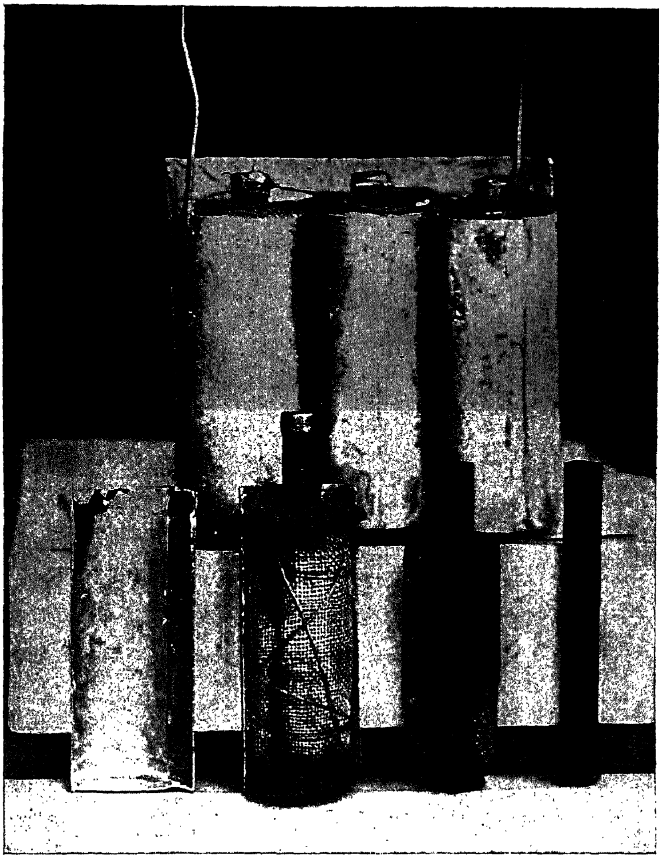


Abb. 339. Taschenbatterie und ihre Teile.

Staaten. Dementsprechend sind auch in der Fabrikation der künstlichen Kohlen die Stifte für die kleinen Trockenelemente nicht unwichtig. Auch der Bedarf an den dickeren Stiften für große Trockenelemente, an Stiften und Platten für nasse Elemente ist nicht zu unterschätzen. Aus der Beschreibung der Puppenpresse ist zu ersehen, daß die kleinen 6 mm dicken und 60 mm hohen Stiftchen sehr fest sein müssen, um den harten Stoß auszuhalten, ohne zu splittern. Natürlich müssen alle

Teile der Presse genaues Maß haben und scharf zentriert sein, weil ein nicht ganz senkrechter Schlag auch den besten Stift zerbrechen kann. Abb. 341 zeigt das Gefüge eines guten Stiftes an einer Bruchfläche bei 20facher Vergrößerung und schiefer Beleuchtung, Abb. 342 die sehr feine Körnung an einer Schliffläche auf einem 16 mm dicken Stift bei 400facher Vergrößerung und Dunkelfeldbeleuchtung.

Abb. 343 gibt eine Zusammenstellung von allerlei Kohlen für Braunsteinelemente aus der Fabrik von Dr. Albert Lessing in Nürnberg.

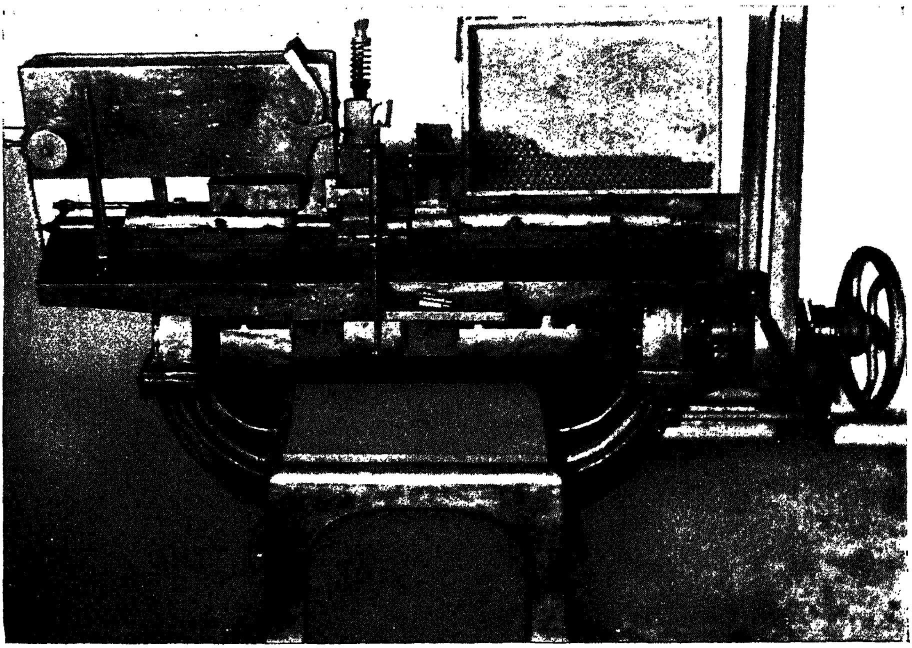


Abb. 340. Automatische Puppenpresse.

Abb. 344 stellt eine hydraulische Presse von Pemsel zur Herstellung von Kohlenplatten dar, welche mit 600 A arbeitet. Die Stifte werden natürlich mit der Strangpresse gespritzt. Zum Abschneiden dient die Maschine Abb. 345, welche die dünnen Stifte auf Längen von 30—75 mm abschneidet und stündlich etwa 18000 Stifte leistet. Danach werden sie durch die selbsttätige Schleifmaschine Abb. 346 an beiden Stirnflächen geradegeschliffen; die Maschine ist für Stifte bis 8 mm Durchmesser und 30—120 mm Länge gebaut; sie leistet mit einem Kraftverbrauch von etwa 2 PS gegen 15000 Stifte in der Stunde.

Wegen ihres sehr feinen Gefüges haben die Stifte eine sehr geringe Porosität (für den 16-mm-Stift wurde sie zu $2^1/_2$% gefunden), wodurch

das Emporsaugen von Elektrolyt zu der den Kopf des Stiftes bedeckenden Messingkappe an sich schon sehr gehemmt wird. Der Sicherheit halber wird oft schon in der Kohlenfabrik das eine Ende des Stiftes paraffiniert und das andere Ende durch rote Farbe auf der Stirnfläche gekennzeichnet.

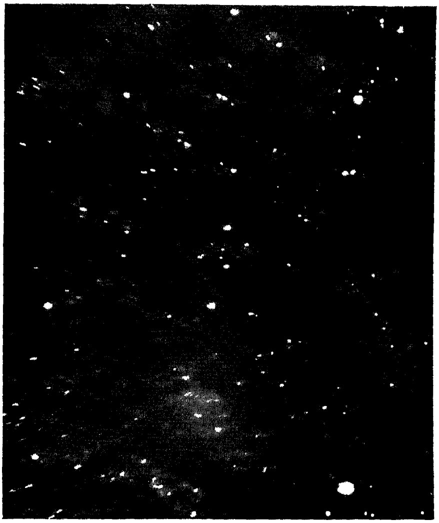


Abb. 341. Element-Kohlestift, 6 mm ⌀ Bruchfläche. V = 20.



Abb. 342. Element-Kohlestift, 16 mm ⌀ Schliff. V = 400.

B. Mikrophonkohlen[1].

Die für das Fernmeldewesen wichtigsten Mikrophone sind die Kohlenmikrophone. Bei ihnen wirkt die auftreffende Amplitude des Schalldruckes mittels einer schwingungsfähigen Membran auf einen losen Kontakt von Kohlenkörnchen ein und verändert dadurch dessen elektrischen Widerstand. Abb. 347 stellt einen Schnitt durch ein ZB-Mikrophon der deutschen Reichspost dar. Durch eine etwa 0,5 mm dicke Kohlenmembran, einen Filzring und einen kleinen runden Kohlenklotz ist eine runde Kammer gebildet, welche die Kohlenkörnchen enthält. Der kleine Kohlenklotz ist mit kreisförmigen tiefen Rillen versehen, um eine möglichst große Berührungsfläche zu bieten. Der Kohlengrieß besteht aus reiner Kohle, meist gemahlenem Anthrazit, der chemisch gereinigt und durch starkes Brennen gehärtet ist; seine Körnung wird durch die beiden Siebe von 60 und 70 Maschen je Quadratzentimeter begrenzt[2]. Die Kammer ist nur zu $^3/_4$ mit Körnchen ge-

[1] Handwörterbuch des elektrischen Fernmeldewesens Bd. 2 S. 108.

[2] Feinere Körnung des Kohlengrießes gibt einen zeitlich beständigeren Widerstand, macht aber das Mikrophon unempfindlicher.

füllt[1]. Abb. 348 zeigt die Bestandteile dieses ZB-Mikrophons[2]. Der von einer Zentralbatterie (daher die Bezeichnung ZB) gelieferte Strom von

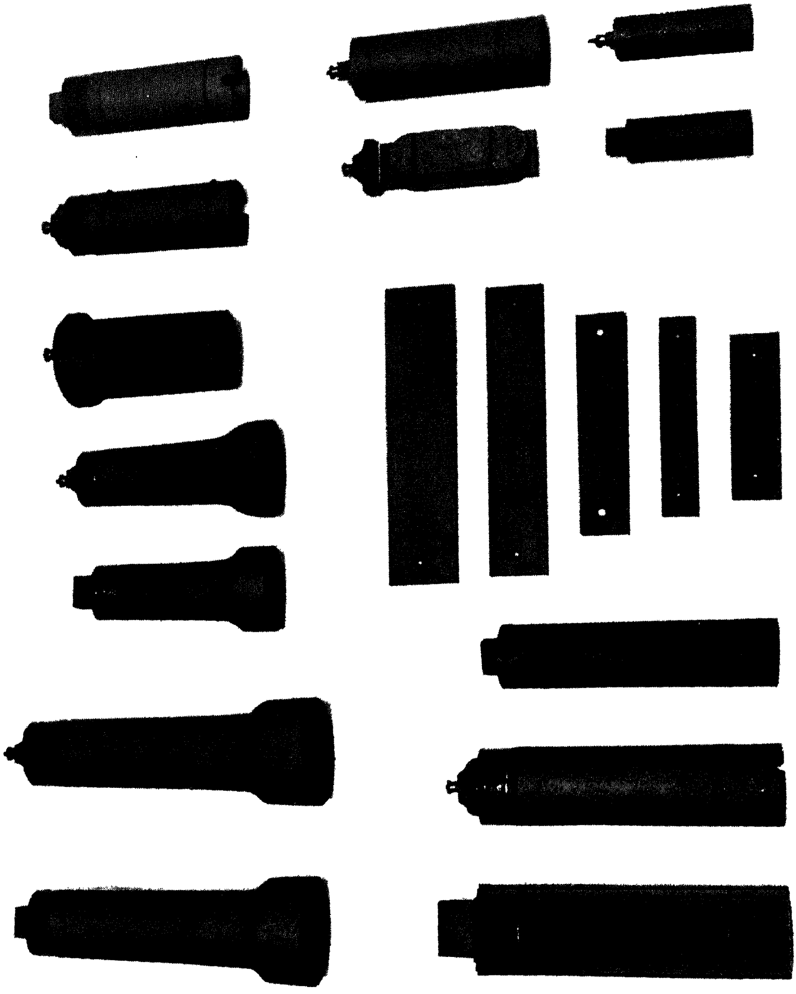


Abb. 343. Batteriekohlen von Lessing.

[1] Wegen der unvollständigen Füllung kann der Mikrophonstrom versehentlich unterbrochen werden, wenn das Mikrophon einmal waagerecht liegt oder stark geschüttelt wird. Dann schnellt die Klemmenspannung empor, wodurch die Kohlenkörnchen verbrennen und das Mikrophon allmählich unbrauchbar werden kann. Zur Abhilfe setzt man einen kurzen Kohlenstempel an die Membran, der in das Pulver hineinragt, oder legt einen Widerstand parallel, so daß die Klemmenspannung 12 V nicht überschreiten kann. Bei dem amerikanischen Solidback-

etwa 20—40 mA wird der Membran und dem Klötzchen zugeführt. Der Widerstand des Mikrophons schwankt zwischen 200 und 400 Ohm. Nach Küpfmüller[1] wird die Mikrophonkohle aus einem Gemisch von Kokspulver mit Ruß und Teer geformt, unter 1000—2000 Atm. gepreßt und bei etwa 1200° gebrannt. Die Oberfläche der Membranen wird auf Hochglanz poliert, damit möglichst wenig Kohlenteilchen durch den Strom abgerissen werden und verbrennen.

Anders ist das durch eine Ortsbatterie gespeiste OB-Mikrophon gestaltet, welches an Sprechstellen, die von der Zentrale weit entfernt sind, z. B. auf dem Lande liegen, in den Fernsprecher eingebaut ist. Weil es

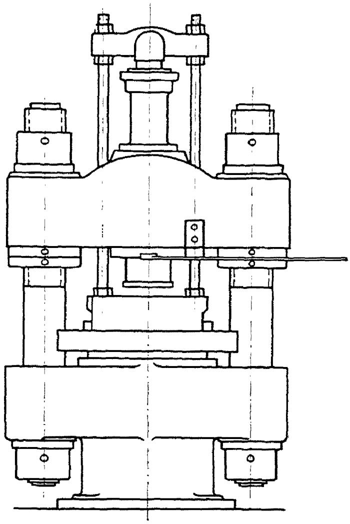


Abb. 344. Presse für Kohleplatten.

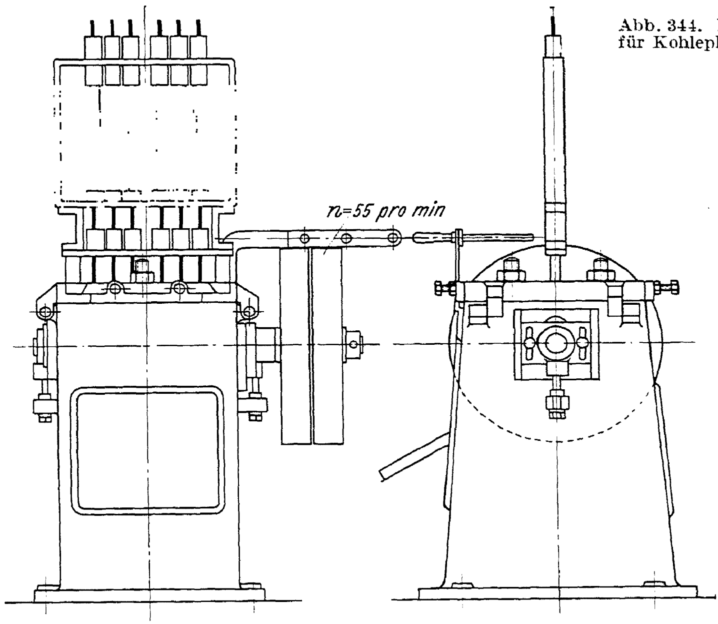


Abb. 345. Abschneidemaschine für Elementstifte (Pemsel).

Mikrophon ist die Kammer dicht gefüllt und die vordere Kohle an einer Glimmermembran befestigt.

[2] (Note zu S. 322) Ich verdanke diese Tafel Herrn Oberingenieur Schiffmann von Zwietusch.

[1] Küpfmüller, K.: Schwachstromtechnik. S. 269. Leipzig: Akadem. Verlagsgesellschaft 1931.

viel stärker, bis 0,2 A, mit Strom belastet wird, ist der feine Kohlengrieß durch Kügelchen ersetzt, welche zu je 9 in 7 runden Gruben des Kohlenblockes liegen (Abb. 349). Solche Mikrophone werden auch von Schwerhörigen benutzt und

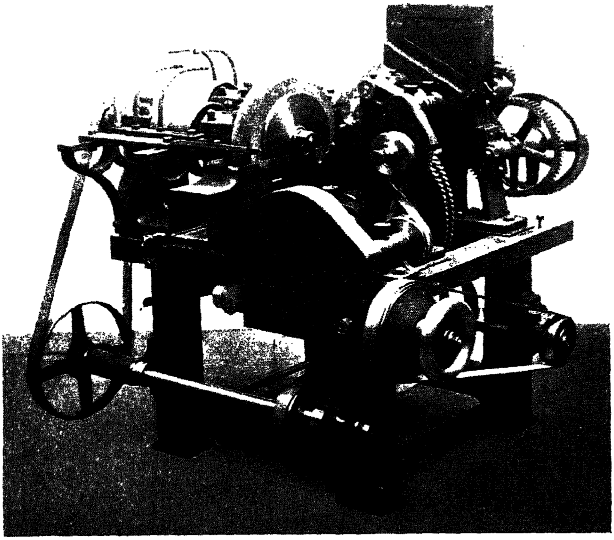


Abb. 346. Schleifmaschine für Elementstifte.

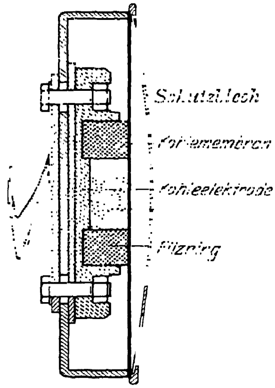


Abb. 347. Schnitt durch ein ZB-Mikrophon.

dann durch eine kleine Taschenbatterie gespeist. Das OB-Mikrophon wird an die abgehende Leitung durch einen Überträger angeschlossen

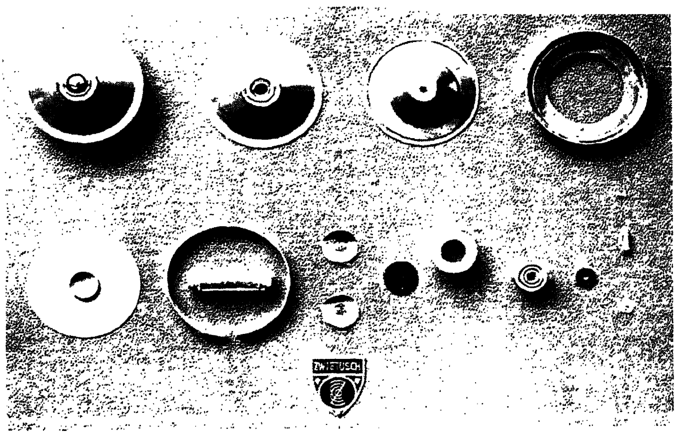


Abb. 348. Bestandteile eines ZB-Mikrophons. 1/3 nat. Gr.

und deshalb kann die Spannung leicht gewandelt werden. Sein Widerstand beträgt nur 10—15 Ohm. Seine Wechselspannung wird meist im Verhältnis 1:5 oder 1:10 gewandelt. Die 63 Kohlenkügelchen haben 1 mm Durchmesser.

Nach Zellner werden die Kügelchen hergestellt, indem

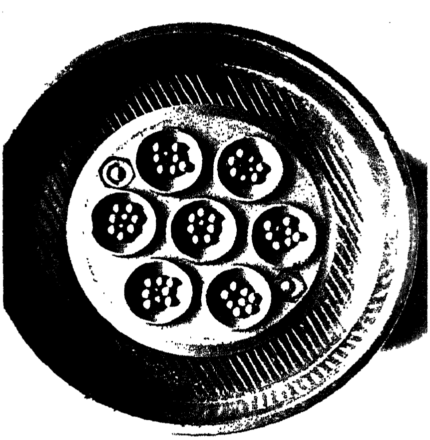


Abb. 349. Inneres eines OB-Mikrophons.

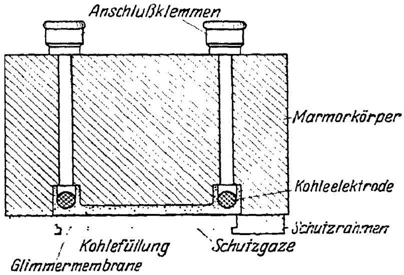


Abb. 350. Mikrophon von E. Reiß.

aus dünnen Strängen Zylinderchen abgeschnitten und in einer Kugelform gepreßt werden. Nachdem der Grat entfernt ist, werden die

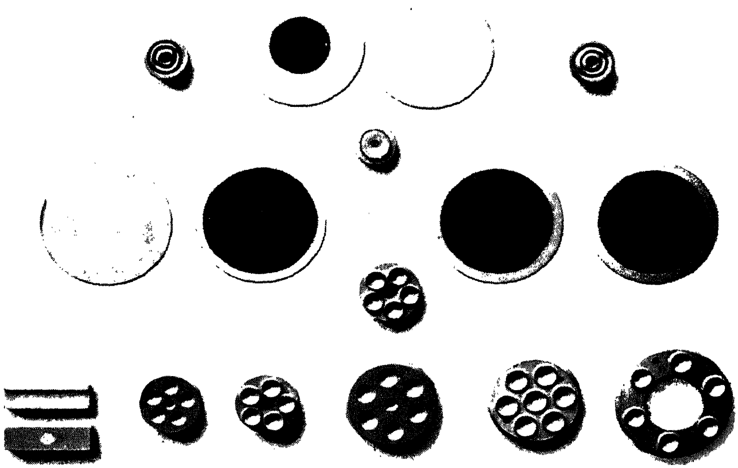


Abb. 351. Membranen und Blöckchen für Mikrophone. 1/3 nat. Größe.

Kügelchen gebrannt. Nach dem Brennen können sie in einer sich drehenden Trommel für sich oder mit Stahlkugeln ganz rund geschliffen

werden. Um die Membranen zu gewinnen, werden von Strängen dünne Scheiben abgeschnitten und gepreßt. In der Unterwasser-

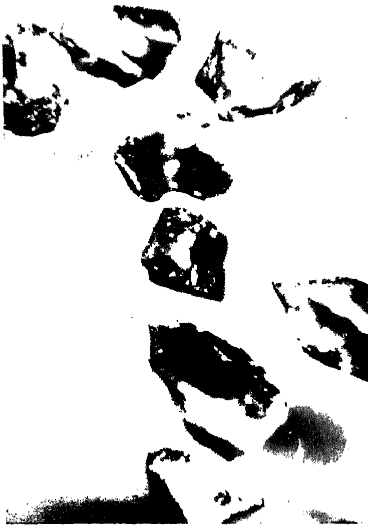


Abb. 352. Kohlekörnchen für Mikrophone. V = 39.



Abb. 353. Mikrophon-Kohlekörner. V = 52.

Schalltechnik werden dickere Membranen verwendet.

Für Übertragungen im Rundfunk wird das Mikrophon von E. Reiß verwendet, welches die Schallschwingungen möglichst klanggetreu widergibt. In einem Marmorblock (Abb. 350), der durch seine träge Masse dämpft, befindet sich die längliche, 2—3 mm tiefe, ganz gefüllte Kohlenkammer, welche hier vom Strom in der Längsrichtung durchflossen wird. Sie ist durch eine Glimmermembran abgeschlossen.

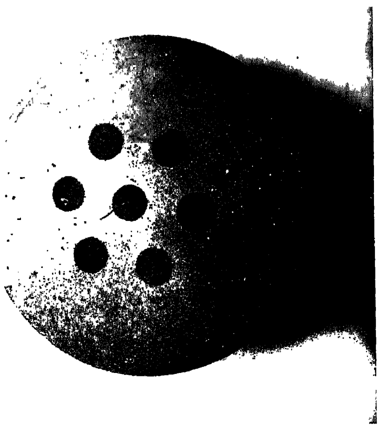


Abb. 354. Die Kügelchen bilden sich auf der Membran ab.

Die Wirkungsweise des Kohlenmikrophons wird nach der Theorie von Holm so erklärt, daß der Schalldruck die Berührungsflächen zwischen den Kohlen vergrößert und dadurch

den elektrischen Widerstand vermindert. Bei normalem Sprechen wird ein Druck von rund 10 Dyn/cm² ausgeübt und der Widerstand auf etwa $^1/_3$ oder $^1/_4$ verringert.

Abb. 351 gibt aus meiner Sammlung eine Zusammenstellung der von C. Conradty fabrizierten Membranen und Blöckchen. Abb. 352 zeigt die scharfkantigen Kohlenkörnchen bei 39facher, Abb. 353 bei 52facher Vergrößerung; ihr Aussehen deutet auf Anthrazit (vgl. Abb. 11 auf S. 21). Das Mikrobild Abb. 354 von der Innenfläche einer OB-Mikrophonmembran zeigt, wie sich auf ihr die Kügelchen abbilden[1]. Auch

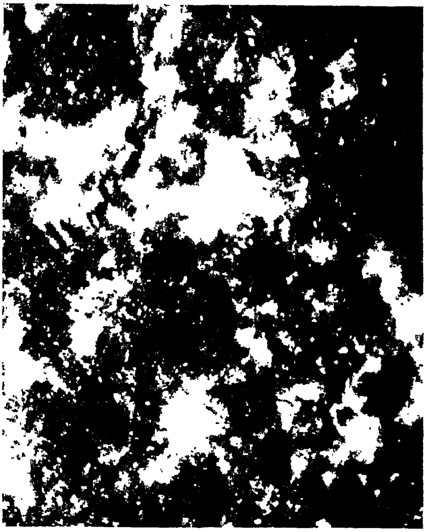


Abb. 355. Kohlemembran mit leichten Anfressungen. V = 52.



Abb. 356. Stark angefressene Mikrophonmembran. V = 52.

an einer ziemlich frischen Membran des ZB-Mikrophons sieht man diese matten Stellen und auf ihnen im Mikroskop (Abb. 355) Grübchen, welche durch die Fünkchen ausgenagt sind. Eine ältere Membran ist an den Kontaktstellen stark angefressen (Abb. 356). Auch bei diesen Aufnahmen hat mir die Dunkelfeldbeleuchtung mit Ultropak genützt.

Die Mikrophonkohlen bilden den Gipfel in der Verfeinerung und der dadurch erarbeiteten Wertsteigerung der Kohle. 1 kg bester Naturkohle kostet rund 3 Pf., Elektrodenkohle 30 Pf., Elektrographit 1,50 M., gute Kohlenbürsten gegen 30 M. und beste Mikrophonmembranen an 60 M., auf 1 kg umgerechnet.

[1] Für diese Aufnahme (mit Altin-Objektiv) wurde die Membran um 20° geneigt, damit die dunklen Kreise möglichst stark zu sehen waren; deshalb erscheint die Membran im Bilde als Ellipse.

C. Heizwiderstände aus Kohle[1].

Kohlengrießöfen. Am einfachsten stellt man sich einen elektrischen Heizkörper, mit dem man sehr hohe Hitze erzeugen kann, dadurch her, daß man um den zu heizenden Raum, z. B. einen Tiegel, gekörnte Kohle, z. B. aus Abfällen von Lichtkohlen, schichtet und mit Kohlenelek-

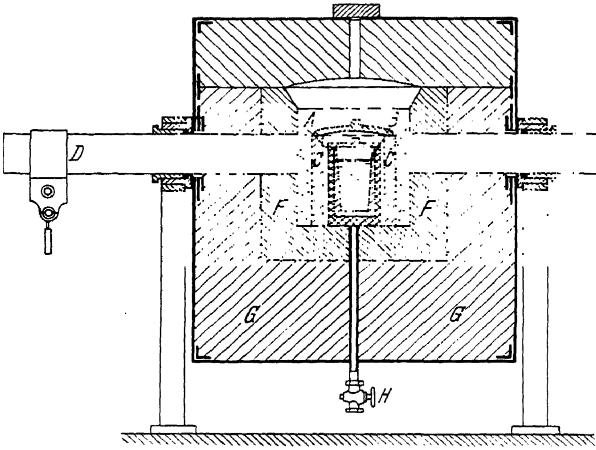


Abb. 357. Kohlegrießofen.

troden einen starken Strom hindurchleitet. Dann bilden sich an den Berührungsstellen der Körner zahllose winzige Lichtbögen und die Masse kommt bald ins Glühen. Je niedriger die verfügbare Spannung ist, um

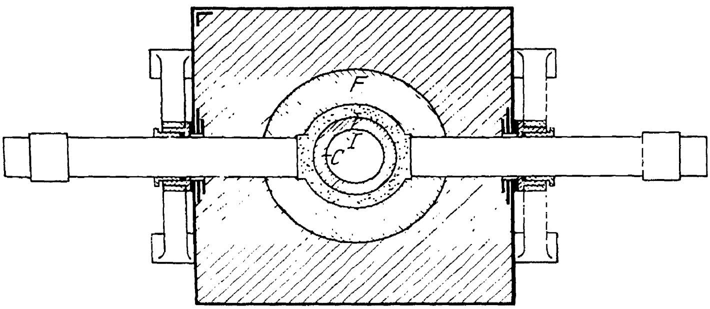


Abb. 358. Kohlegrießofen (waagerechter Schnitt).

so größer darf man den Querschnitt der Kohlenschicht nehnem, muß aber natürlich einen Strom von hoher Amperezahl hindurchschicken. Je kleiner der Querschnitt, um so schwieriger ist es, die Temperatur im Kohlengrießofen gleichzuhalten, weil durch den auch bei guter

[1] Stähler: Handbuch der Arbeitsmethoden in der anorganischen Chemie Bd. III 1 S. 356. Leipzig: Veit & Co.

Abdeckung nicht ganz zu vermeidenden Abbrand der Widerstand des Heizkörpers sich unregelmäßig ändert und auch leicht Hohlräume entstehen können, welche man durch Stochern rasch beseitigen muß. Abb. 357 zeigt einen Kohlengrießofen, einen sogenannten Kryptolofen im Schnitt. Der Kohlentiegel A ist innen mit einer Magnesitschicht B ausgekleidet und mit einem Deckel aus Magnesit zugedeckt. Der Tiegel ist von einem Ring C aus Magnesitmasse umschlossen; zwischen diesem Ring und der Magnesitauskleidung F des Ofenkörpers G befindet sich die gekörnte Kohle, welcher der Strom durch die Kohlenelektroden D und E zugeführt wird. Der ganze Ofen ist mit einem Schamottedeckel bedeckt. Der ringförmige Raum, in welchem sich der Kohlengrieß befindet, muß überall den gleichen Querschnitt besitzen, damit der Tiegel ringsum gleichmäßig geheizt wird. Abb. 358 gibt einen waagerechten Schnitt durch den Ofen. Man kann mit 110 Volt leicht 1600° erreichen und während etwa 6 Stunden leidlich aufrechterhalten. Nach dieser Zeit ist die Auskleidung des Ofens angegriffen, und die Temperatur beginnt stark zu schwanken; man schaltet dann aus und bessert nachher das Futter sorgfältig aus. Durch Ändern des Heizraumquerschnittes und auch der Korngröße der Kohle läßt sich der Ofen verschiedenen Klemmenspannungen anpassen.

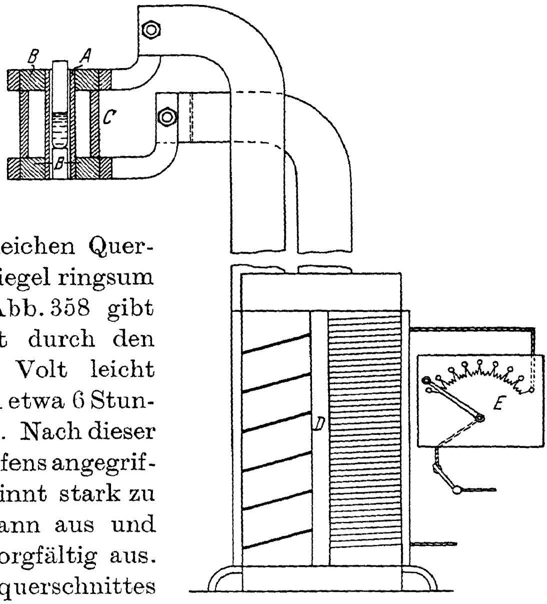


Abb. 359. Tammann-Ofen mit Stromwandler.

Kohlenrohröfen. Ein Kohlenrohr als Heizwiderstand gestattet rasch sehr hohe Temperaturen bis 2000° zu erreichen und gut innezuhalten. Freilich darf man die Wandstärke des Rohres nicht zu gering wählen, weil sonst das Rohr zu bald durchbrennt, und wird um der Festigkeit willen das Rohr nur kurz wählen. Dann muß man aber, weil die Klemmenspannung niedrig ist, mit sehr hoher Stromstärke arbeiten, z. B. bei 10 Volt mit 1000 A. Abb. 359 zeigt im Schnitt den Tammann-Ofen. Durch die Kohlenplatten B wird dem Kohlenrohr A der Strom zugeführt. Der Schutzmantel C ist mit gekörnter Kohle ganz gefüllt. In wenigen Minuten werden 1600° erreicht. Größere Metallmengen kann man im Ofen von Helberger (Abb. 360) schmelzen, bei welchem der Graphittiegel A gleich als Heizwiderstand dient.

Vor Abbrand kann man den Kohlenwiderstand schützen, indem man den Ofenraum luftleer pumpt. Als Beispiel gibt Abb. 361 den Vakuumofen nach Oberhoffer, bei welchem das Kohlenrohr, um seinen elektrischen Widerstand zu erhöhen, spiralig aufgeschnitten ist. Ein die Spirale umgebendes Kohlenrohr stützt sie und hält die Hitze zusammen. Der Ofenmantel ist aus Glas.

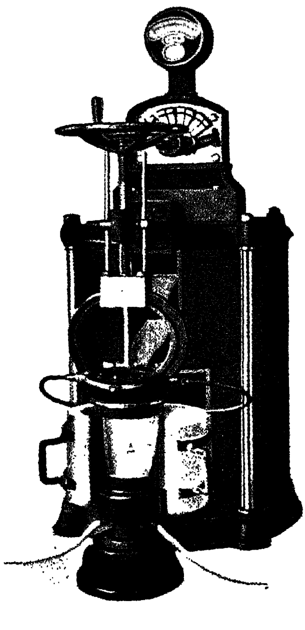


Abb. 360.
Ofen von Helberger.

Heizstäbe. Kalkstickstoff wird nach dem Verfahren der Bayerischen Stickstoffwerke in Retorten erzeugt, die von innen durch einen langen Kohlenstab elektrisch geheizt werden. Damit das um den Heizkörper geschüttete Karbidpulver, wenn es glühend den eingeleiteten Stickstoff als Kalziumzyanamid bindet, nicht am Kohlenstab anbackt, wird er mit einem Papprohr umgeben, das zwar verkohlt, aber auch dann noch den Stab schützt. Weil die langen dünnen Stäbe oft zerbrechen, ist bei der von der Elektrochemischen Gesellschaft ausgeübten Verfahren der Heizstab durch eine Kokssäule ersetzt.

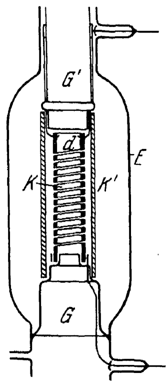


Abb. 361.
Vakuumofen nach Oberhoffer.

D. Sonstige Verwendungen.

Reglerwiderstände. Die große Veränderlichkeit von Kohlenkontakten mit dem Druck wird zu einem regelbaren Vorschaltwiderstand für starke Ströme verwertet, indem man Kohlenplatten aufeinander stapelt und den Stapel etwa durch eine Schraube mehr oder weniger preßt. Eine hübsche handliche Gestalt haben die Siemens-Planiawerke für diesen Regler erfunden, indem sie die Windungen einer Kohlenspirale zusammenpressen.

Zu mehreren Hundert werden Kohlenringe oder Kohlenscheiben von 0,3 oder 0,5 mm Dicke aufeinander geschichtet. Wie ich einer Mitteilung der Ringsdorff-Werke entnehme, ergab sich bei einer Säule aus 125 Ringen von 0,5 mm Dicke, 50 mm äußerem und 43 mm innerem Durchmesser folgender Zusammenhang zwischen Preßdruck und elektrischem Widerstand:

Druck in kg	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0
Widerstand in Ohm	23,3	14,3	7,7	4,0	0,96	0,54	0,39	0,31

Indem man den Preßdruck von 0,1 auf 20 kg erhöht, ändert man also den Widerstand im Verhältnis 75:1. Für gewöhnlich genügt ein engeres Regelungsbereich. Statt mit bestimmten Drucken zu arbeiten, kann man einen bestimmten Entlastungshub verwenden, was die Apparatur sehr vereinfacht; man braucht dann nur den Entlastungsweg durch eine obere und eine untere Sperrung einschränken. Z. B. wurde bei 125 Ringen durch einen Entlastungshub von nur 0,8 mm der Widerstand 13mal so groß. Betriebsmäßig darf eine solche Säule bis zu 140 Watt bei 2,6 Ampere belastet werden. Wegen der besseren Kühlung dürfen Säulen aus Ringen stärker belastet werden als solche aus Scheiben.

Blitzschutzkohlen. Diese Kohlenklötzchen sollen Fernsprech- und Telegraphenleitungen schützen, indem sie die durch einschlagende Blitze hervorgerufene starke induktive Überspannung gefahrlos ableiten. Von den beiden Klötzchen ist das eine entweder glatt oder quer geriffelt, das andere entweder mit einer breiten Längsnute versehen oder längs geriffelt, wie Abb. 362 zeigt[1]. Die beiden Klötzchen werden durch ein etwa 0,1 mm dickes, isolierendes Plättchen getrennt. Bei geriffelten Kohlen werden die geriffelten Flächen gegeneinander gelegt, um die Spannung günstiger abzuleiten. Die eine Kohle wird an die Leitung, die andere an Erde gelegt. Im allgemeinen wird die Isolierschicht schon von 350 Volt durchschlagen. Man soll diese Sicherung möglichst staubdicht einkapseln, damit sie nicht durch Staub überbrückt wird, was den normalen Betrieb stören würde. Was die Art der Kohle anlangt, so soll sie ein dichtes Gefüge haben, damit sie den auftretenden kleinen Lichtbögen widersteht; mittlere Leitfähigkeit genügt fast in allen Fällen.

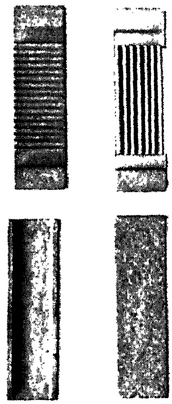


Abb. 362. Blitzschutzkohlen.

Anoden für Gleichrichter. Die Quecksilberdampf-Gleichrichter werden heute in großem Maßstabe verwendet, um Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln. Großgleichrichter dieser Art werden z. B. in Hüttenwerken benutzt und vertragen eine Dauerbelastung bis zu fast 4000 Ampere. Hier hat es sich als nützlich erwiesen, die Anoden aus einem vorbehandelten Sondergraphit herzustellen. Graphit kann nämlich wegen seiner höheren Wärmestrahlung und seiner Unschmelzbarkeit

[1] Die abgebildeten Blitzschutzkohlen stammen von der Carbone A. G.

elektrisch wesentlich höher als Eisen belastet werden, ohne daß Rückzündungen im Gleichrichter auftreten. Bis zu 3000 Ampere Belastung brauchen die Graphitanoden nicht besonders gekühlt zu werden. Abb. 363 zeigt diesen Teil eines Großgleichrichters der AEG; *a* ist die Graphitanode, *s* ist ein Schutzrohr aus Eisen, in welches Gitter *g* und Blende *b* eingebaut sind, um den Strom auf die Anodenfläche günstig zu verteilen und Restladungen rasch zu beseitigen[1].

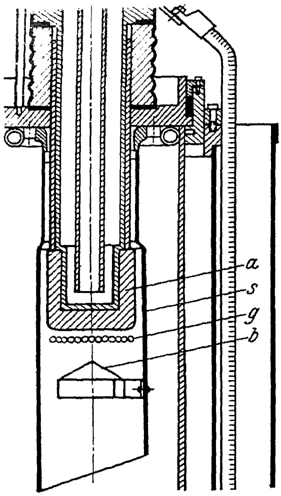


Abb. 363. Gleichrichteranode.

Lagerbuchsen, Lagerschalen und Schieber. In Abb. 364 sehen wir links oben eine einteilige Lagerbuchse, welche bei leichten Federdrucken oder kleinen Umfangsgeschwindigkeiten verwendet werden darf. Darunter schauen wir einen Kohlering für selbstschmierende Drucklager von Autos an schwer zugänglicher Stelle bei der Kuppelung. Das zweiteilige Lager dient z. B. in Mischmaschinen für Lebensmittel; es befreit von der Unannehmlichkeit, die Lager der Mischflügel zu ölen. Übrigens dürfen die Kohlelager nicht mit Öl geschmiert werden, weil sonst zu viel Kohle abgerieben würde. Die beiden Stücke rechts unten sind Gas-

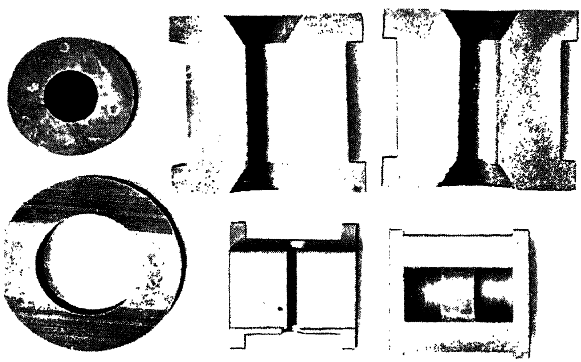


Abb. 364. Lagerbuchsen, Lagerschalen und Gasmesserschieber.

messerschieber. Man belegt die Gasmesserschieber gern mit Graphit oder macht sie ganz aus Graphit, damit sie vom Gase nicht angegriffen werden. Sie schmieren sich selbst und laufen mit geringer Reibung.

[1] AEG-Mitteilungen 1932 Heft 2 S. 44.

Dichtungsringe. Dichtungsringe aus Kohle dienen, um auf Dampfturbinen, Zentrifugen usw. die Welle abzudichten. Sie werden gewöhnlich aus einer harten leichtgraphitischen Kohle ein- bis dreiteilig hergestellt. Die mehrteiligen Ringe werden durch eine Drahtspirale zusammengehalten (Abb. 365).

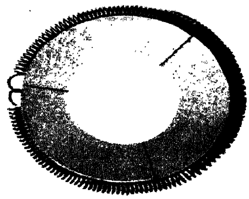


Abb. 365. Dichtungsring.

Kolben aus Kohle. Schließlich sei noch erwähnt, daß auch Kolben für Luftpumpen und Dämpfungskolben für Bogenlampen und Waagen aus graphitierter Kohle hergestellt werden.

Namen- und Sachverzeichnis.

Buchdruckerei Otto Regel G. m. b. H., Leipzig.

***Elektrothermie.** Die elektrische Erzeugung und technische Verwendung hoher Temperaturen. Vorträge zahlreicher Fachleute, veranstaltet durch den Elektrotechnischen Verein E. V. zu Berlin, in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule zu Berlin. Herausgegeben von Professor Dr. phil. **M. Pirani.** Mit 268 Abbildungen im Text. VIII, 293 Seiten. 1930.

Gebunden RM 36.—

***Quantitative Analyse durch Elektrolyse.** Begründet von **Alexander Classen.** Siebente Auflage umgearbeitet von **Alexander Classen,** Aachen, und **Heinrich Danneel,** Münster i. W. Mit 78 Textabbildungen (2 Tafeln) und zahlreichen Tabellen. IX, 399 Seiten. 1927.

RM 22.50; gebunden RM 24.—

Allgemeine und technische Elektrometallurgie. Von Dr. **Robert Müller,** o. ö. Professor an der Montanistischen Hochschule Leoben. Mit 90 Abbildungen im Text. XII, 580 Seiten. 1932.

Gebunden RM 32.50

Der Verfasser hat sich bei Abfassung des Werkes von dem Gedanken leiten lassen, in knapper, aber erschöpfender Weise eine Darstellung der elektrolytischen Metallgewinnung und der elektrochemischen Eigenschaften der Metalle zu geben, um in einem Bande den ganzen Stoff wiederzugeben. Wenn auch das Hauptgewicht auf die technische Metallgewinnung gelegt wurde, so wurden trotzdem alle anderen elektrolytischen Gewinnungsmöglichkeiten — auch solcher Metalle, die derzeit nicht oder nur beschränkt technisch verwendet werden — kurz behandelt, um vor allem dem neue Möglichkeiten suchenden Techniker die nötigen Hinweise an die Hand zu geben. Im allgemeinen Teil finden sich kurz die theoretischen Grundlagen der Elektrochemie unter besonderer Berücksichtigung und unter Hinweis auf die für die Elektrometallurgie wichtigen Vorgänge. Eingehender wird das anodische Verhalten der Metalle im Zusammenhang mit der Korrosion sowie Korrosionsschutz besprochen. Im größeren, praktischen Teil folgt die Beschreibung der elektrolytischen Gewinnung und des elektrochemischen Verhaltens aller Metalle, gegliedert nach dem natürlichen System der Elemente.

In jedem einzelnen Falle werden die allgemeinen elektrolytischen Abscheidungsmöglichkeiten einschließlich der nötigen Hinweise auf die Elektroanalyse, die technische Gewinnung und Reinigung, galvanisches Überziehen, Eigenschaften des Metalls, Potentiale, anodisches Verhalten und Korrodierbarkeit besprochen, sowie gegebenenfalls wirtschaftliche Daten gebracht.

***Berl-Lunge, Taschenbuch für die anorganisch-chemische Großindustrie.** Herausgegeben von Prof. Ing. Chem. Dr. phil. **E. Berl,** Darmstadt. Siebente, umgearbeitete Aufl. 1930.
Erster Teil: Text. Mit 19 Textabbildungen. XIX, 402 Seiten. Gebunden.
Zweiter Teil: Nomogramme. Mit einem Lineal. 4 Seiten Text und 31 Tafeln. In Mappe. Text und Nomogramme zusammen RM 37.50

**Auf alle vor dem 1. Juli 1931 erschienenen Bücher des Verlages Julius Springer, Berlin wird ein Notnachlaß von 10 % gewährt.*